

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL
CASERÍO NUEVO PAQUIUL, COBÁN, ALTA VERAPAZ**

EDGAR ISMAEL XOL CUC

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE 2017

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL CASERÍO
NUEVO PAQUIUL, COBÁN, ALTA VERAPAZ

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR
EDGAR ISMAEL XOL CUC
CARNÉ: 200844085

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE 2017

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. Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián
PEM. César Oswaldo Bol Cú

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
SECRETARIA: Ing. Geól. Silvia Frine Cortez Bendfeldt
VOCAL: Ing. Geól. Luis Alfonso Laj Hun

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Civil *MSc* Julio Enrique Reynosa Mejía

REVISOR TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Ing. Geól. *MSc* Bernie Castillo Moeschler

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

Ref. 15-CG-51/2017
03 de febrero 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. EDGAR ISMAEL XOL CUC**, carné n.º **200844085**, titulado: **“ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL CASERÍO NUEVO PAQUIUL, COBÁN, 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 Morán Ical
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Ref. 15-CG-265/2017
19 de septiembre de 2017

**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

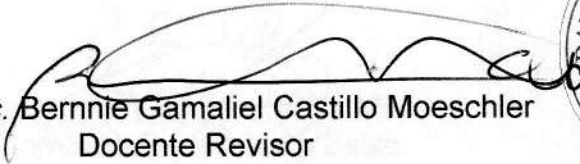
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

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. EDGAR ISMAEL XOL CUC**, carné n.º **200844085**, titulado: **“ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL CASERÍO NUEVO PAQUIUL, COBÁN, 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. M. Sc. Bernnie Gamaliel Castillo Moeschler
Docente Revisor
Carrera Geología
CUNOR



c.c. archivo



**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


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: **“ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL CASERÍO NUEVO PAQUIUL, COBÁN, ALTA VERAPAZ”**, realizado por el T.U. **GEÓL. EDGAR ISMAEL XOL CUC**, carné n.º **200844085**, 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.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. 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: "ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CÁRCAVAS, EN EL CASERÍO NUEVO PAQUIUL, COBAN, ALTA VERAPAZ", como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.



T.U. Edgar Ismael Xol Cuc
Carné: 200844085

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta el título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de 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 del Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

AGRADECIMIENTO A:

Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Mi mamá Aurelia Cuc por ser el principal pilar de mis sueños, gracias a ella por confiar y creer en mí y en mis expectativas día a día.

Mi papá por el apoyo que siempre me brindó en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

A mi esposa por entenderme en todo, gracias porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, fue la felicidad encajada en una sola persona, es mi todo reflejado en mi hijo, a quien amo profundamente.

A Julio Reynosa por su ayuda en los momentos difíciles, donde siempre hizo prioridad hacia mi preparación académica. Mis padres y yo estamos infinitivamente agradecidos por todo el apoyo universitario.

Al Centro Universitario del Norte por permitir convertirme en ser un profesional, que tanto me apasiona.

A cada uno de los catedráticos de la carrera de Geología quienes hicieron parte en este proceso integral de mi formación académica, sirva este informe como recuerdo y prueba, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de futuras generaciones.

DEDICATORIA A:

Mi esposa, siendo la mayor motivación en mi vida encaminada al éxito; es el ingrediente perfecto para alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, pues el culminar esta tesis con éxito me da el privilegio de dedicarla a quien se preocupó por mí en cada momento y que siempre quizo lo mejor para mi porvenir.

Mi gran amigo Julio Reynosa por tanta ayuda y aportes no solo para el desarrollo de mi investigación, sino también para mi vida: eres mi inspiración y mi motivación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	01

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1	Planteamiento del problema	03
1.2	Justificación	03
1.3	Hipótesis	04
1.4	Antecedentes	04
1.5	Objetivos	04
	1.5.1 General	04
	1.5.2 Específicos	04
1.6	Localización y extensión del área	05
1.7	Accesos	05
1.8	Marco estratigráfico regional	07
1.9	Marco tectónico regional	08
1.10	Clima y vegetación	09
1.11	Fisiografía	10
1.12	Zona de vida	11
1.13	Revisión de literatura	12
	1.13.1 Cárcavas	12
	1.13.2 Falla geológica	12
	1.13.3 Geología estructural	12
	1.13.4 Análisis cinemático	13
	1.13.5 Redes de drenaje	13
	1.13.6 Microcuenca	14

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Gabinete preliminar	15
2.2	Campo	15

2.2.1	Perfil de suelo	16
2.2.2	Color de suelo	17
2.2.3	Estructura de suelo	18
2.2.4	Textura de suelo	20
2.3	Laboratorio	21
2.3.1	Determinación del límite de <i>Atterberg</i>	22
	a. Límite líquido	22
	b. Límite plástico	24
2.3.2	Análisis por cribado (granulométrico)	26
2.4	Gabinete final	28
2.4.1	Parámetros para el análisis de la microcuencia	29
	a. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (kc)	29
	b. Coeficiente de forma (kf)	30
	c. Densidad de drenaje (Dd)	30
	d. Frecuencia de drenaje (fh)	31
	e. Textura de drenaje	32
	f. Sistema de drenaje	33
	g. Pendiente	33
	h. Precipitación	34

CAPÍTULO 3

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Litoestratigrafía local	35
3.1.1	Lutita (Pt)	35
3.1.2	Coluvión (Qco)	36
3.1.3	Aluvión (Qal)	38
3.2	Geología estructural	39
3.2.1	Estratificación	39
3.2.2	Fractura	40
3.3	Procesos degradacionales	41
3.3.1	Movimiento en masa	41
3.3.4	Cárcavas	42
3.4	Determinación del límite de <i>Atterberg</i>	43
3.4.1	Perfil de suelo	43
3.4.2	Color del suelo	47
3.4.3	Estructura del suelo	47
3.4.4	Textura del suelo	48
3.4.5	Límite líquido	51
3.4.6	Límite plástico	56
3.5	Análisis por cribado (granulométrico)	63
3.6	Análisis de los parámetros de la microcuencia	66
3.6.1	Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (kc)	67
3.6.2	Coeficiente de forma (Kf)	67
3.6.3	Densidad de drenaje (dd)	69
3.6.4	Frecuencia de drenaje (Fh)	70

3.6.5	Textura de drenaje	70
3.6.6	Sistema de drenaje	71
3.6.7	Pendiente	72
3.6.8	Precipitación	73
CONCLUSIONES		77
General		77
Específicos		77
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA		83
ANEXOS		85
I.	MAPA GEOLÓGICO LOCAL	87
II.	MAPA DE CÁRCAVAS	89
III.	DATOS ESTRUCTURALES	91

ÍNDICE DE CUADROS

1.	Coordenadas <i>UTM</i> del área de investigación	06
2.	Definición diagramática y ubicación de varios tipos de estructuras del suelo	19
3.	Determinación del límite líquido	24
4.	Determinación del límite plástico	26
5.	Índice de plasticidad	26
6.	Análisis granulométrico	27
7.	Índice de Gravelius para la evaluación de la forma	30
8.	Forma de la cuenca en función al factor de forma	30
9.	Índice y valor de drenaje	31
10.	índice y valor o frecuencia de drenaje	32
11.	Índice valor de textura de drenaje	32
12.	Clasificación de la pendiente	34
13.	Colores de horizontes de suelo de acuerdo a la escala de <i>Munsell</i>	47
14.	Estructura de suelo del perfil A y B	48
15.	Textura de suelo del perfil A y B	49
16.	Determinación del límite líquido del perfil A	55
17.	Determinación del límite líquido del perfil B	55
18.	Determinación del límite plástico del perfil A	59
19.	Determinación del límite plástico del perfil B	59
20.	Índice de plasticidad del perfil A	60
21.	Índice de plasticidad del perfil B	61
22.	Base de datos granulométrica para la clasificación de los horizontes del suelo	62
23.	Datos del ensayo por cribado del perfil A	64
24.	Datos del ensayo por cribado del perfil B	65
25.	Mediciones básicas de la microcuenca bajo estudio	66

26.	Longitud total de los causes de agua	69
-----	--------------------------------------	----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1.	Unidad de Lutita ubicada al norte de la microcuenca bajo estudio	36
2.	Unidad de Coluvión en la parte central de la microcuenca bajo estudio	37
3.	Unidad de Aluvión en la parte baja de la microcuenca del área bajo estudio	38
4.	Deslizamientos observados en la unidad de coluvión, al centro de la microcuenca bajo estudio	41
5.	Cárcavas observadas, localizadas en la unidad de coluvión	42
6.	Elaboración del perfil A	44
7.	Elaboración del perfil B	44
8.	Preparación de la muestra para establecer los límites de <i>Atterberg</i>	52
9.	Determinación del límite líquido	53
10.	Determinación del límite plástico	58

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1.	Diagrama para la cartografía geológica	16
2.	Metodología para la determinación al tacto para las diferentes clases texturales de suelo	21
3.	Diagrama para el análisis de suelo	22
4.	Proceso para el análisis de la microcuenca	28
5.	Polos de los planos de estratificaciones del área bajo estudio	39
6.	Diagrama de rosa para fracturas del área bajo estudio	40
7.	Horizontes de suelo de los perfiles A y B	46
8.	Horizontes de suelo del perfil A	50
9.	Horizontes de suelo del perfil B	50
10.	Clasificación de suelo del perfil A	60
11.	Clasificación del suelo del perfil B	61

ÍNDICE DE IMÁGENES

1.	Falla geológica	12
2.	Cartografía estructural	13
3.	Sistema de red de drenaje	14

ÍNDICE DE MAPAS

1.	Localización de la microcuenca de investigación	06
2.	Zona climática Thornwhite, del área de investigación	09
3.	Fisiografía del área de estudio	10

4.	Zona de vida del área de estudio	11
5.	Microcuenca bajo estudio	66
6.	Sistema de drenaje	71
7.	Pendiente de la microcuenca	72
8.	Isoyetas de la precipitación anual	74

LISTADO DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL EN ESTE TRABAJO

°	Grados
%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
σ_1	Esfuerzo de compresión
σ_2	Esfuerzo de distensión
A	Área
AB´	Muy húmedo
Al	Aluvión
B	Ancho medio de la cuenca
Bp-s	Bosque pluvial Subtropical
CA	Ruta centroamericana
Co	Coluvión
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
cm	centímetro
dd	Densidad de drenaje
<i>E</i>	este
<i>et.al.</i>	Y otros
Fh	Frecuencia de drenaje
Fm	Formación
g	gramo
G	Número de golpes
HCl	Ácido Clorhídrico
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IP	índice de plasticidad
Kc	índice de Gravelius o coeficiente de compacidad
Kf	Coeficiente de forma
kg	kilogramos
km	kilómetro
km ²	kilómetros cuadrados
Lc	Longitud de su cauce principal
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
m	metro
mm	milímetro
m1	Peso de recipiente + suelo húmedo
m2	Peso de recipiente + suelo seco
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
n	Segmentos

<i>NW</i>	noroeste
P	Perímetro
Pt	Lutitas
<i>SE</i>	sureste
<i>SW</i>	suroeste
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SIG	Sistema de Información Geográfico
<i>UTM</i>	<i>Universal Transverse Mercator</i>
W	Contenido de humedad
<i>WGS</i>	<i>World Geodestic System</i>

RESUMEN

El informe y trabajo denominado análisis de la ocurrencia de cárcavas, se realizó en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz, con el fin de determinar los factores en la ocurrencia de cárcavas, con base a parámetros geológicos, geológicos estructurales, geotécnicos e hidrológicos con una escala 1: 5 000 del área de investigación.

Las unidades litoestratigráfica identificadas en el área bajo estudio son: Aluvión (Al), Coluvión (Co) y Lutitas (Pt). Mismas que fueron delimitadas en un mapa geológico, a escala 1: 5 000.

Los datos estructurales medidos en la etapa de campo incluyeron estratificaciones, diaclasas y fracturas. Estructuralmente las Unidades de Lutitas (Pt) poseen una orientación preferencial a las estratificaciones de este a oeste, los esfuerzos de compresión (σ_1) son de suroeste a noreste, mientras que tensión (σ_2) es de noreste a suroeste.

Como resultado de los análisis de suelos de la primera y segunda cárcava se determinó que son suelos limo arcillosos (ML) de baja plasticidad (límite de *Atterberg*).

Posteriormente se hizo el análisis de los parámetros morfométricos tales como: índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (kc), coeficiente de forma (Kf), densidad de drenaje (Dd), frecuencia de drenaje (Fh), textura de drenaje, sistema de drenaje y pendiente. Para estos cálculos, los datos fueron obtenidos por el *software ArcGis 9.3*.

Finalmente se analizaron los datos de interpolación de la base de datos de precipitación del MARN.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo a la investigación de campo que se realizó, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los factores que originan la ocurrencia de cárcavas en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz?

1.2 Justificación

La investigación geológica, estructural e hidrológica que se realizó, fue para determinar los factores de ocurrencia de cárcavas.

Los resultados del análisis geológico contribuirán al beneficio de la población que vive en la zona, la cual es vulnerable a movimientos de masa de suelo, abarcan deslizamientos de suelo y roca. Este beneficio se traducirá principalmente en la mitigación de la amenaza que representan.

Con lo descrito anteriormente, se muestra la importancia de la investigación, la cual pretende recabar e interpretar información relacionada con la geotecnia, geología estructural e hidrología del área, para que la población que se encuentren en la zona, tenga información respecto a las amenazas y acciones para reducir su vulnerabilidad.



1.3 Hipótesis

La formación de cárcavas se debe principalmente a la concentración de los escurrimientos superficiales en diferentes puntos en el área de estudio.

1.4 Antecedentes

Actualmente no existen estudios acerca de la génesis de la formación de cárcavas en el caserío Nuevo Paquiul del municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz, lo único que se tiene de antecedente, es el informe preliminar de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) en el año 2012, en relación a la formación de cárcavas por flujo de agua pluvial.

Los principales objetivos de dicho informe, fueron:

1. Evaluar la situación actual de amenaza en el área.
2. Establecer las medidas prioritarias a considerar para mitigar la situación de amenazas existentes.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Determinar los factores en la ocurrencia de cárcavas en base a los parámetros geotécnicos, estructurales e hidrológicos, en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz.

1.5.2 Específicos

- a. Elaborar un mapa geológico a partir de datos de campo a escala 1:5 000 para determinar las unidades litológicas de la microcuenca y su posible relación con la formación de procesos erosivos y elaborar cartografía del fenómeno a escala 1:500.
- b. Realizar análisis de suelo para determinar las características de humedad y límites de *Atterberg*.



- c. Explicar la génesis del proceso de erosión del suelo en el área.
- d. Establecer medidas de mitigación para minimizar la amenaza.

1.6 Localización y extensión del área

El caserío Nuevo Paquiul, es parte de la microregión Salacuín, del municipio de Cobán, Alta Verapaz. Esta región se ubica y localiza al norte del municipio en dirección hacia el municipio de Ixcán perteneciente al departamento de Quiché.

Para una ubicación geográfica del área, la comunidad se ubica en la hoja topográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 2000, con el nombre de Chamá 2062 I, a escala 1:50 000, que también está referenciado espacialmente con *WGS-84* (ver tabla 1) y se encuentra representada en la mapa 1. Superficialmente, la microcuenca cuenta con una superficie de 2 km².

1.7 Accesos

Para llegar en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz a partir de la ciudad de Guatemala, se toma la carretera asfaltada CA-9 que conduce al Atlántico, desviándose hacia norte en el kilómetro 82 (El Rancho, El Progreso), se continúa por la ruta CA-14 hacia la cabecera departamental Cobán. A partir de ese punto se recorre aproximadamente 40 km sobre la carretera asfaltada a la cabecera municipal de Chisec, para llegar a la comunidad Balbatzul, posteriormente se recorren aproximadamente 45 km sobre la carretera de terracería para llegar a aldea Sesajab, donde finaliza el acceso vehicular y finalmente a eso a 4 h de caminata por vereda en terreno quebrado, se llega al área en cuestión.



1.8 Marco estratigráfico regional

En base a la información geológica del léxico estratigráfico del Bloque Maya de Guatemala, se estima que regionalmente el área de estudio forma parte de lo que se conoce como Bloque Maya, donde se tiene la presencia de una serie de formaciones geológicas tanto carbonatadas como terrígenas. Por lo que se considera geológicamente parte del Grupo Verapaz, principalmente de la Formación Sepur.¹

Sapper (1937),² describe al departamento de Alta Verapaz como Sepur entre la finca Campur y el municipio de Lanquín. Eric Fourcade (1992), también describe esta zona a la Formación Sepur. Y también cerca de la región de Senahú en un corte efectuado a lo largo de la carretera, desde la finca Setutzabal hasta la finca Chimepech, cerca de la finca Marichaj.

Sapper (1937),³ definió la base de la formación con conglomerados y areniscas gruesas, con fragmentos de cuarcitas ígneas básicas y calizas, que muestra un espesor de 274 m. Mientras que en la parte superior hay arcillas, lutitas, areniscas y margas café interestratificado con lentes de caliza y calcarenitas cuyo espesor máximo aproximado de 600 m.

Paul Bronniano, prueba que la Formación Sepur es del Cretácico tardío con un rango que va del Campaniano al Maastrichtiano.⁴

¹ Milán, García, Felino. *Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala*. 2010.

²Sapper (1937), *Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala. Cobán Alta Verapaz, Guatemala: Cunor/Usac 2010.*, 219

³Ibid

⁴*Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala. Cobán Alta Verapaz Guatemala: Cunor/Usac 2010.*, 239



E. Fourcade, indica que la Formación Sepur, clásicamente se atribuye al Campaniano-Maastrichtiano superior y las calizas contienen foraminíferos planctónicos campanianos, por lo tanto puede asignársele a el Maastrichtiano.⁵

Esta formación es equivalente a las Formaciones Chemal y Lacandón pero esta última se diferencia por las calizas que presenta. La Formación Chemal se caracteriza por sus áreas de ocurrencia y a su color rojo característico.⁶

Según Milían (1985)⁷ en la localidad tipo, la Sepur presenta unas capas rojas. Otra diferencia es la ocurrencia de las capas, pues es una banda este-oeste, se supone que la formación Chemal ocurre al sur de esta cadena y la Formación Lacandón hacia el norte.

1.9 Marco tectónico regional

El sistema de falla Polochic-Motagua, sistema de Plegamiento de la Verapaz y la Zona de Subducción Mesoamericana son los elementos tectónicos de la placa del Caribe que tienen influencia directa en la tectónica de la región. Esta evolución tectónica ha sido extremadamente compleja ya que de acuerdo con estudios involucrados, diversas fases de expansión del fondo marino, convergencia de placas y grandes desplazamientos laterales. Estos eventos han controlado el régimen de sedimentación y por ende son las responsables de las variadas secuencias litológicas y estructuras que se han registrado.

⁵Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala. Cobán Alta Verapaz Guatemala: Cunor/Usac 2010., 239

⁶Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala. Cobán Alta Verapaz, Guatemala: Cunor/Usac 2010., 240

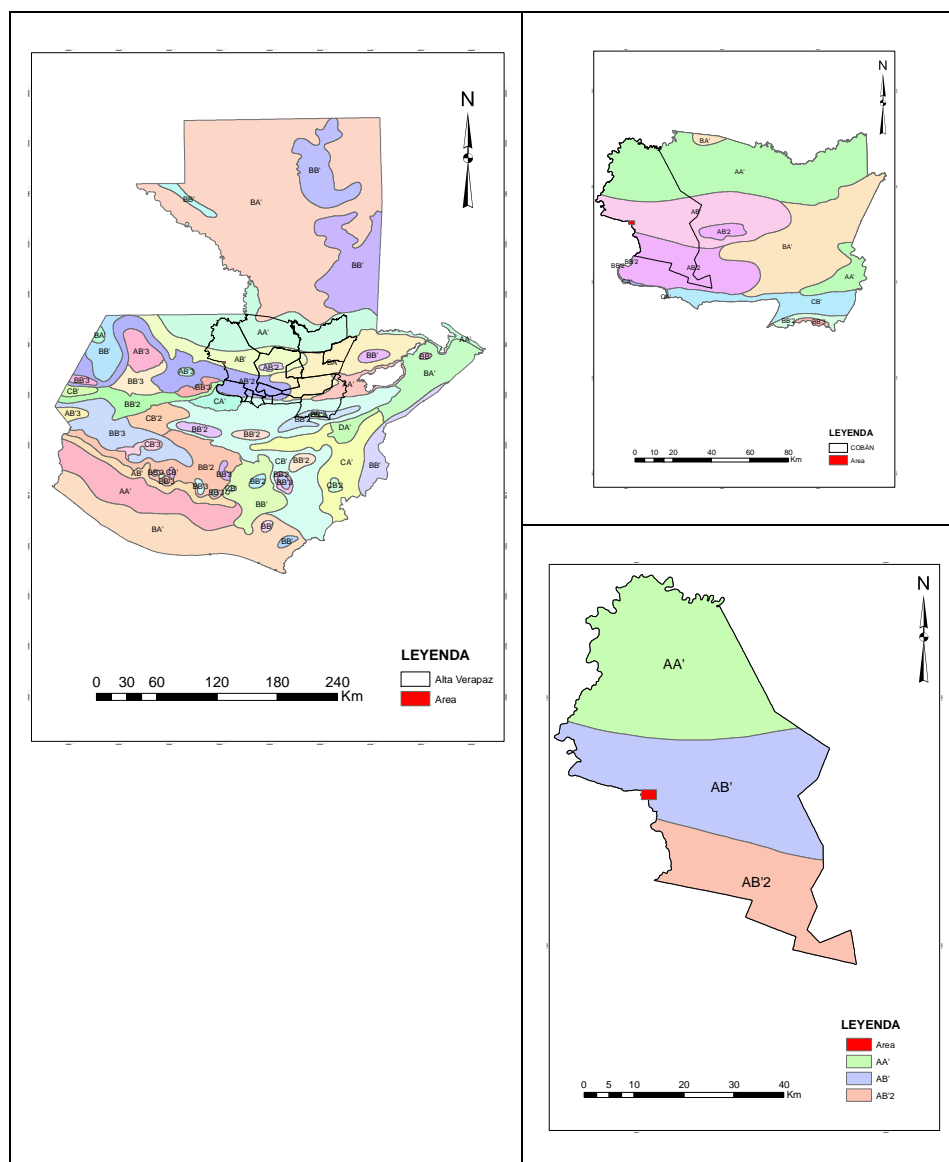
⁷Milían (1 985), Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala. Cobán Alta Verapaz, Guatemala: Cunor/Usac 2010., 240



1.10 Clima y vegetación

La clasificación climática de *Thornwhite* categoriza el área bajo estudio de tipo AB' muy húmedo, entonces se tiene una vegetación denominada como selva, con temperatura semi cálida (mapa 2).

MAPA 2
ZONA CLIMÁTICA THORNWHITE, DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

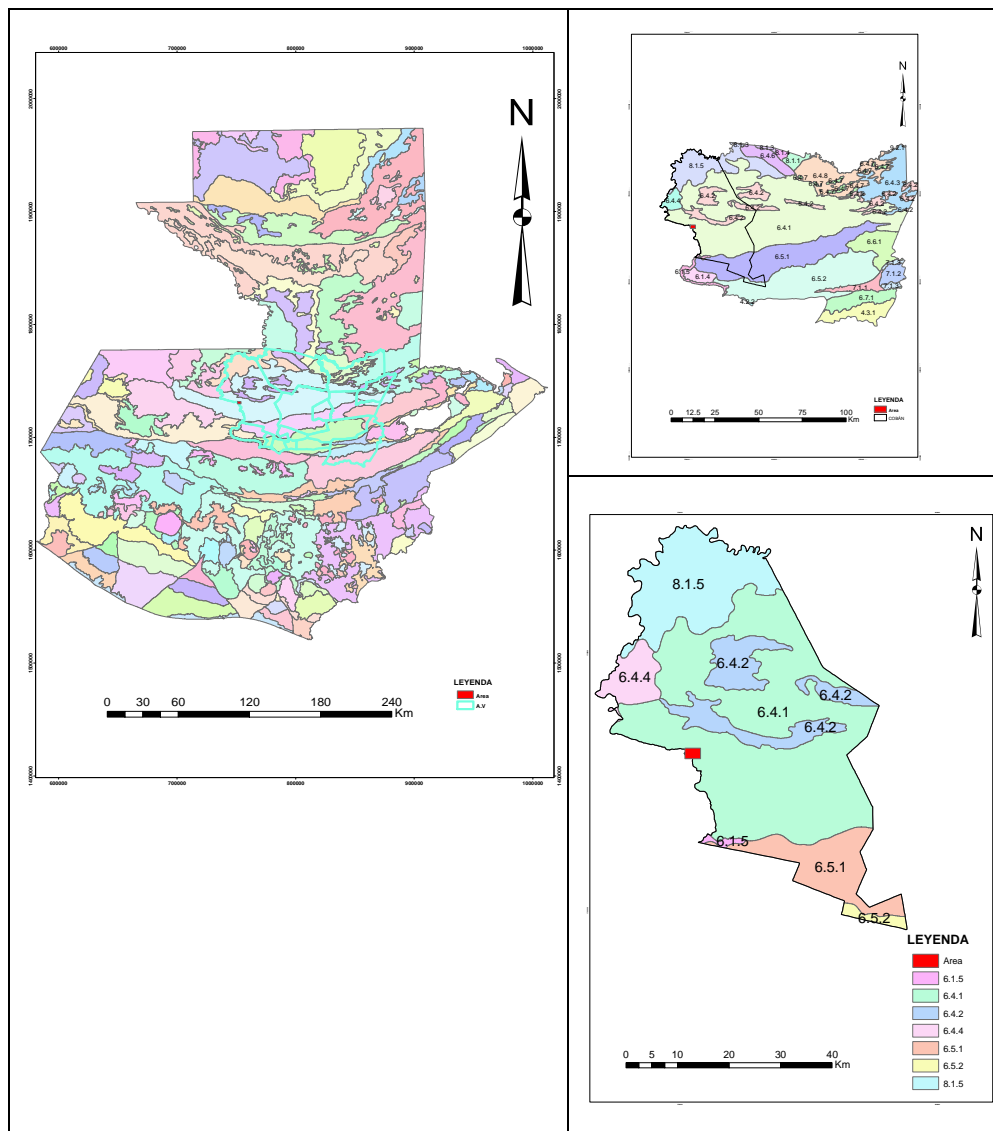


Fuente: Base de datos SIG-MAGA (2001).

1.11 Fisiografía

Según la clasificación de provincias fisiográficas de Guatemala de la base de dato SIG-MAGA (2001), el área de investigación se ubica en las Tierras Altas Sedimentarias, específicamente en la sierra plegada de Chamá (6.4.1.). Forma parte del eje central norte del país, desde el occidente en Huehuetenango hasta el norte de Izabal, pasa Quiché y Alta Verapaz (mapa 3).

MAPA 3
FISIOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

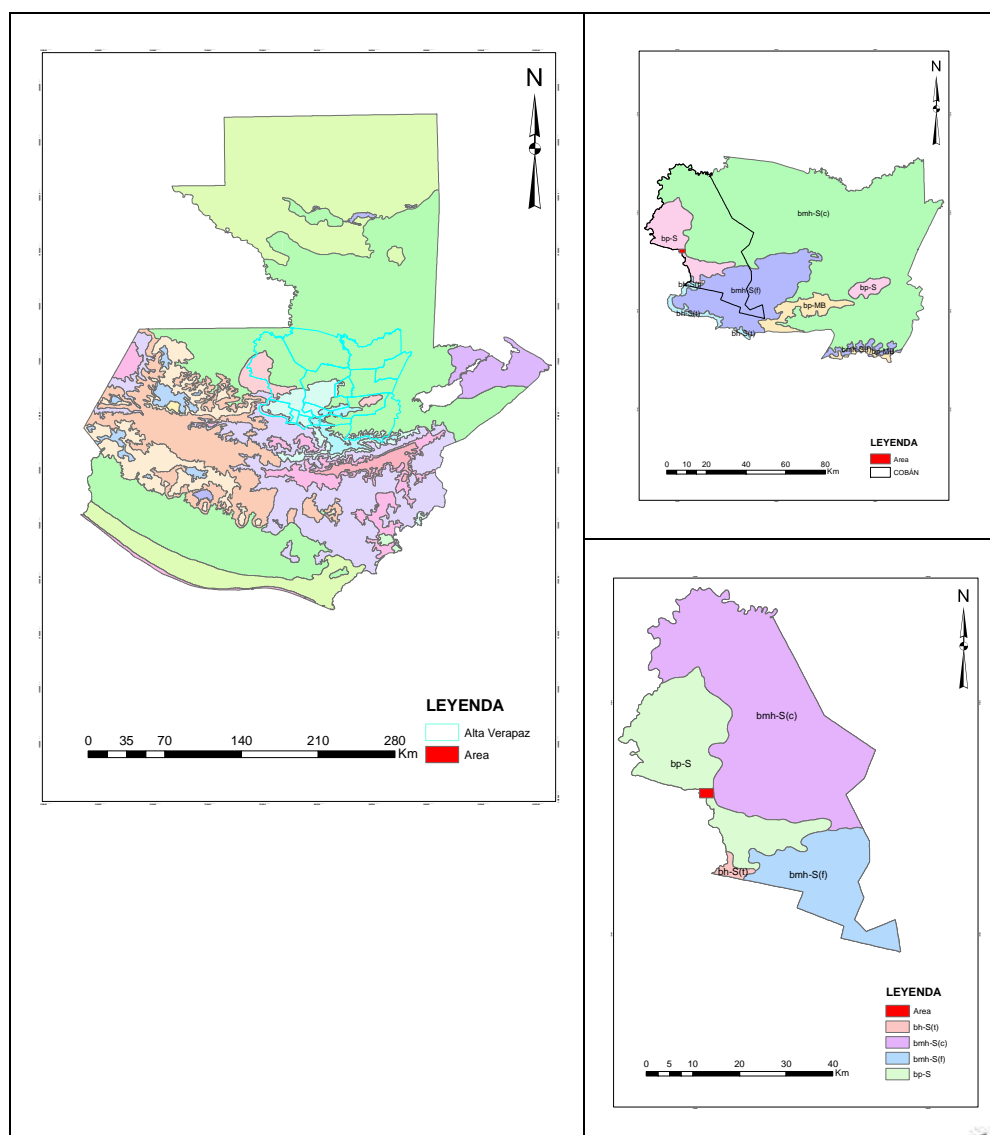


Fuente: Base de datos SIG-MAGA (2001).

1.12 Zona de vida

Según la base de datos del SIG-MAGA (2001), la zona de vida identificada para el ámbito del área de investigación es Bosque pluvial Subtropical (bp-S). Se caracteriza por presentar un relieve accidentado, la vegetación predominante indicadora de esta zona es *Alforoa spp*, algunas especies indicadoras de esta zona son: Magnolia, Coj, Anonillo y nogal de montaña y puede ser utilizada para vocación forestal (mapa 4).

MAPA 4
ZONA DE VIDA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Base de datos SIG-MAGA (2001).

1.13 Revisión de literatura

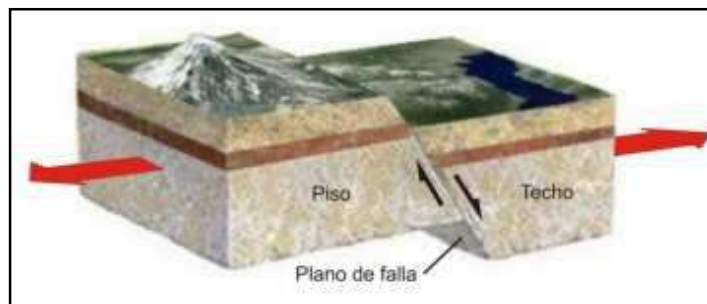
1.13.1 Cárcavas

Es aquel canal resultante de la erosión causada por un flujo intermitente de agua durante o inmediatamente después de fuertes lluvias. Estos canales son lo suficientemente profundos como para no poder ser tapados por el agricultor e interfieren a menudo en las operaciones de labranza.⁸

1.13.2 Falla geológica

Es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura⁹ (imagen 1).

IMAGEN 1
FALLA GEOLÓGICA



Fuente: <http://www.inpres.gov.ar/docentes/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf> 10 de agosto de 2015.

1.13.3 Geología estructural

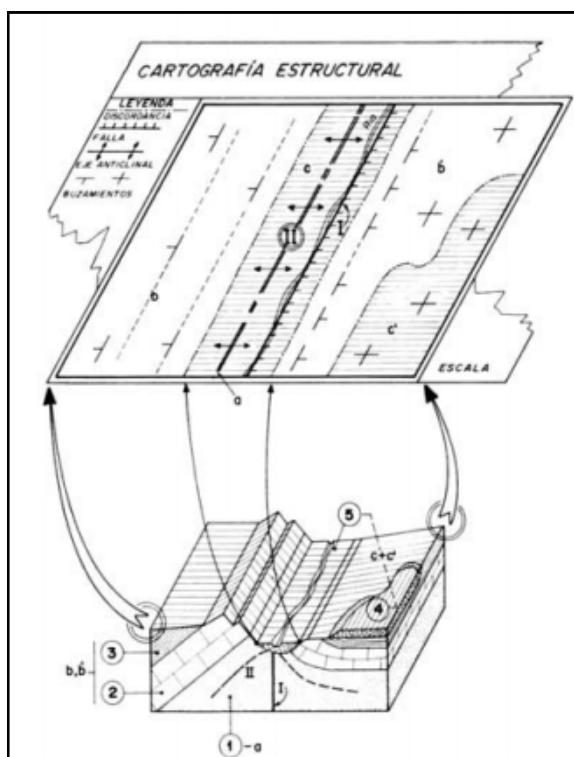
Es la rama de la geología que se dedica a estudiar la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en superficie. Interpreta y entiende la arquitectura de la corteza

⁸ Poes. *Análisis del proceso de erosión en cárcavas en el noreste de canelones entre 1966 - 2010*, (Uruguay), 1993.

⁹ Bates y Jackson. 1980. *Geología estructural*. 1980.

terrestre y su relación espacial, determina así las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas (imagen 2).

IMAGEN 2
CARTOGRAFÍA ESTRUCTURAL



Fuente: Martínez Álvarez J.A, 1989

1.13.4 Análisis cinemático

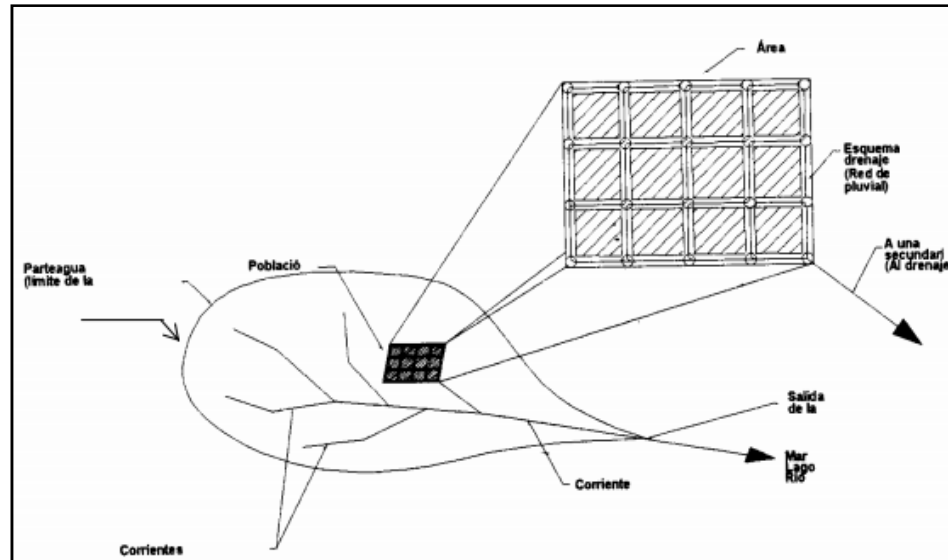
Es la identificación y descripción de estructuras, junto con un entendimiento de su desarrollo y sus patrones de movimiento.¹⁰

1.13.5 Redes de drenaje

Es toda estructura, natural o artificial, que facilitan el escurrimiento y evita el almacenamiento del agua en una zona particular (imagen 3).

¹⁰ KEN Mcclay. *The mapping of geological structures*. London England, 2010.

IMAGEN 3
SISTEMA DE RED DE DRENAJE



Fuente: <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/HU4-03.pdf> 10 de agosto de 2015.

1.13.6 Microcuenca

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una sub-cuenca. Varias microcuencas pueden conformar una sub-cuenca.¹¹

Para la clasificación, existen varios criterios relacionados con el tamaño de la cuenca y están relacionados con el número de orden de drenaje y/ o con el tamaño del área que encierra.

De acuerdo al Centro Interamericano de Desarrollo Integral de aguas y suelo, la clasifica como $< 100\ 000\ m^2$.

¹¹ Jorge Faustino .*Cogestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos*, 2000.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

El análisis del fenómeno de erosión se llevó a cabo a través de las siguientes fases: gabinete preliminar, campo, laboratorio y gabinete final.

2.1 Gabinete preliminar

En esta fase se realizaron las siguientes actividades: la digitalización del mapa base de la microcuenca, generación de un mapa de trabajo de campo a escala 1:5 000, para realizar el mapeo geológico. De igual manera se generó un mapa regional a escala 1:500 para la cartografía del fenómeno

2.2 Campo

Durante esta fase se realizó el mapeo geológico a escala 1:5 000 con el método de caminamiento, el cual consistió en establecer una relación litológica y relación estructural mientras se avanzaba por las vías de accesos. Se utilizó una libreta de campo y una lista de cotejo.

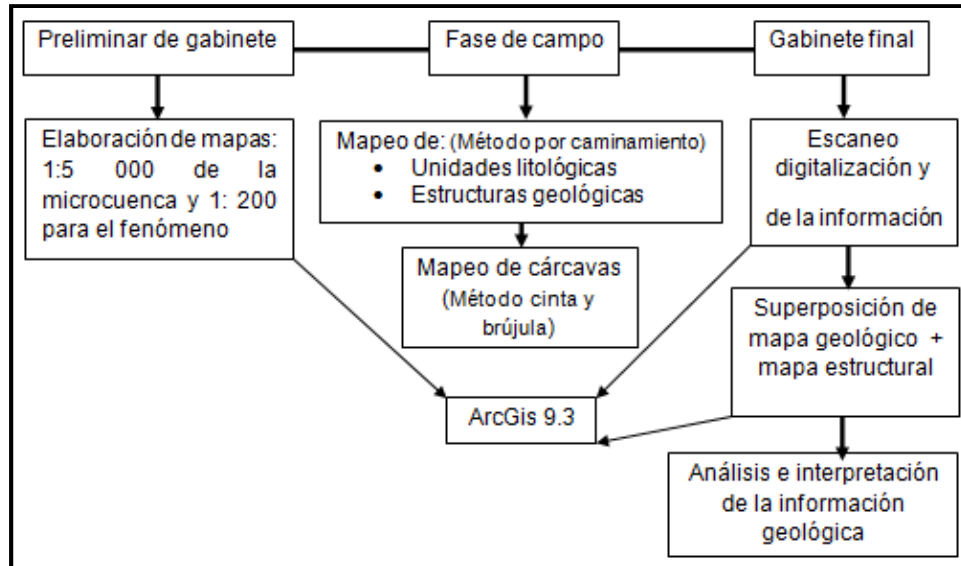
Para determinar la orientación de las estructuras geológicas se aplicó el método *dip-direction* y regla de la mano derecha.

También se construyeron perfiles de suelo en las cárcavas, para obtener muestras de suelo de las diferentes secciones de suelo; para ello se aplicaron las especificaciones teóricas a tomar en consideración antes de obtener las muestras.



Para el desarrollo de la cartografía geológica se llevaron a cabo las fases que se muestran en la gráfica 1.

GRÁFICA 1
DIAGRAMA PARA LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA



Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.2.1 Perfil de suelo

Es una simple corte vertical de un cuerpo de suelo que se extiende desde la superficie hasta el material rocoso. Para ello, se hizo un sección en una cárcava con el siguiente material y equipo: Azadón, escalera, machete, brújula, cinta métrica, bolsa plástica (de 2 kg), etiquetas, marcadores, libreta de campo, agua destilada y solución de HCl al 10 %.

El procedimiento seguido fue:

1. Seleccionar el punto donde construyó el perfil.
2. Se limpió el área de interés.
3. Se delimitaron los horizontes observados desde la superficie hasta el fondo de la cárcava.



4. Se midió el espesor de cada horizonte y se observó su color.
5. Se tomó una pequeña muestra de suelo (2 g a 3 g) en una caja de Petri para determinar la presencia de carbonatos, se dejaron caer 1 ó 2 gotas de HCl al 10 %. Al comprobar efervescencia hay presencia de carbonatos. Se repitió esta operación para cada horizonte.
6. Se tomó una muestra de unas 1 kg de cada horizonte y se dejó secar al aire bajo sombra, estas muestras sirvieron para los siguientes análisis.

2.2.2 Color de suelo

El color, es la característica más evidente cuando se observa la superficie o el perfil de un suelo y constituye su respuesta a la radiación electromagnética en la región visible del espectro. La determinación más satisfactoria del color del suelo se consigue actualmente por medio de la escala de *Munsell*, ya que con ésta, se reducen las diferencias de apreciación personal. El color del suelo debe determinarse sacando el aire y humedecido hasta saturación, dado que dicho color varía con el contenido de humedad.

La escala de *Munsell* presenta una serie de muestras de colores expresados en función de sus tres elementos básicos, que son el matiz, la pureza y la intensidad. En el eje de las ordenadas está la pureza para esa escala y la intensidad está incluida en escala 2.5 R (rojo amarillento) es el matiz, en el eje de las ordenadas está la pureza para esa escala y la intensidad está incluida en el eje de las abscisas inferiores.



Procedimiento a seguir:

1. Se extrajeron aproximadamente 100 g de suelo en su estado natural en un horizonte de suelo.
2. Se compara el color del suelo con la escala de colores de *Munsell* y se determina el color. Se agregan unas cuantas gotas de agua hasta saturación y volver a determinar el color en la misma forma.

2.2.3 Estructura de suelo

La estructura se refiere a la agregación de partículas primarias de suelo (arena, limo y arcilla) en partículas compuestas o grupos de partículas primarias, los cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura. La estructura de los diferentes horizontes del perfil de un suelo es una característica esencial del suelo, como: color, textura, o la composición química.

Los agregados del suelo o *peds* se clasifican de acuerdo a su forma, como esféricos, laminares, en forma de bloque o de primas. Estas cuatro formas básicas dan lugar a siete tipos comúnmente reconocidos (cuadro 2).

Esta clasificación de estructura de suelo se utilizó para la investigación de campo.



CUADRO 2
DEFINICIÓN DIAGRAMÁTICA Y UBICACIÓN DE VARIOS TIPOS
DE ESTRUCTURAS DEL SUELO

Tipo de estructura	Descripción de los agregados	Diagrama de los agregados	Horizonte común de ubicación
Esferoidal	Relativamente sin poros, terrones pequeños y esferoidales; no se une a otros agregados		Horizonte A
Migajosa	Relativamente porosa, terrones pequeños y esferoidales; no se une a otros agregados		Horizonte A
En placas	Los agregados son en forma de placas. Estas frecuentemente se traslapan disminuyendo la permeabilidad		Horizonte A2 en suelos forestales y suelos con capas de arcilla compacta
En bloques	Terrones en forma de bloques limitados por otros agregados, cuya cara angulares forman el molde del terrón. Frecuentemente los agregados se rompen en terrones pequeños en forma de bloques		Horizonte B
Bloques	Terrones como bloques limitados por otros agregados cuyas caras subangulares redondeadas forman el molde del terrón		Horizonte B
Prismática	Terrones en forma de columnas sin extremos redondeados, otros agregados prismáticos forman el molde del terrón. Algunos agregados prismáticos se rompen en terrones más pequeños en forma de bloques.		Horizonte B
Columnar	Terrones en forma de columnas con los extremos redondeados, limitados lateralmente por otros agregados columnares, los cuales forman el molde para los terrones.		Horizonte B en suelos solonetz

Fuente: *De soils laboratory exercise source book, Am. Of Agron, 1964.*

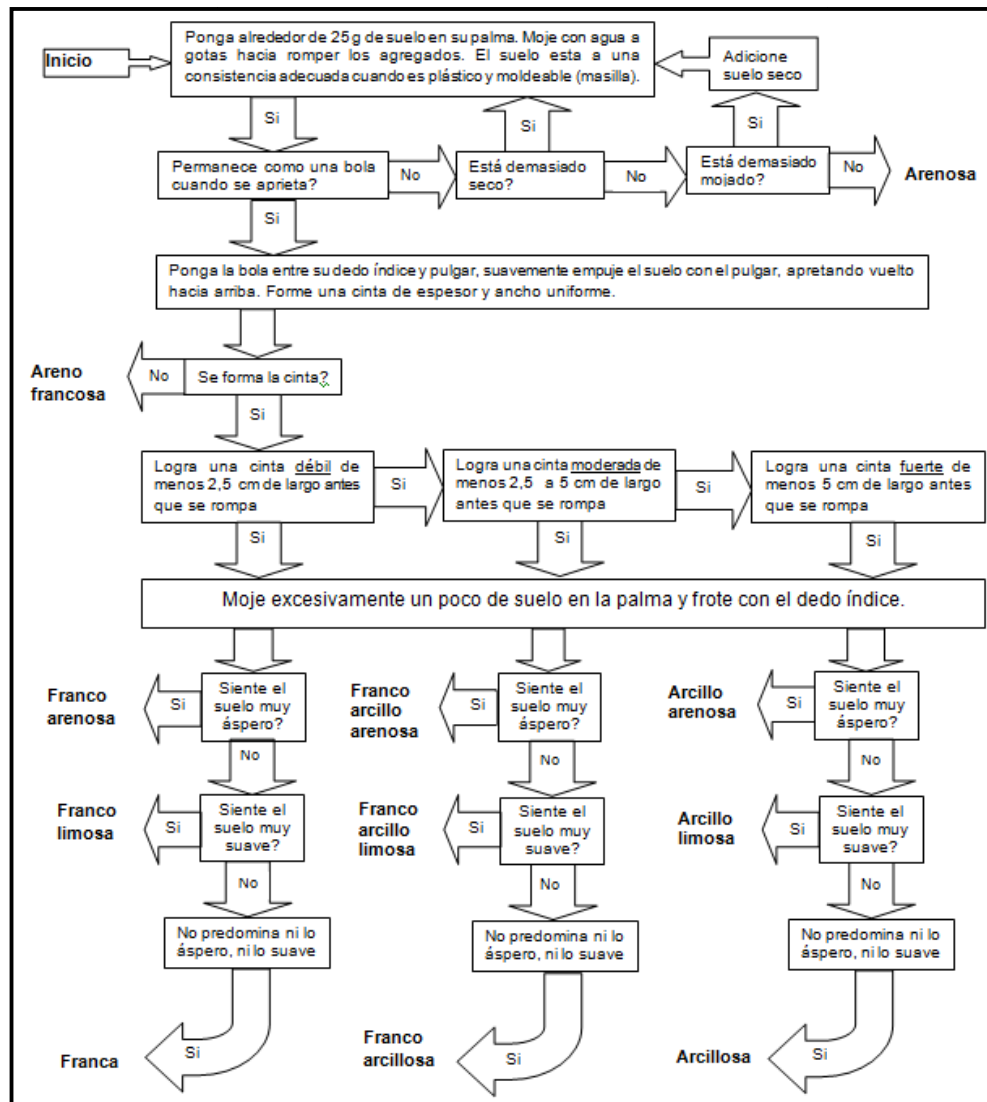
2.2.4 Textura de suelo

Las texturas de los diferentes horizontes en un perfil del suelo son comúnmente diferentes. Cuando esto sucede el suelo tiene un perfil de texturas. Ya que la textura tiene una gran influencia sobre las propiedades de los horizontes del suelo, el desarrollo del perfil de textura deberá ser considerado.

Para este estudio se ha utilizado una serie de criterios y una metodología, indicados en la gráfica 2, para estimar de manera práctica la textura de suelo sin la necesidad de utilizar instrumentos de laboratorio ni técnicas sofisticadas, sino a través del tacto y la vista.



GRÁFICA 2
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN AL TACTO PARA
LAS DIFERENTES CLASES TEXTURALES DE SUELO



Fuente: Mery, D. Determinación manual de la textura de suelo mediante la técnica del tacto.

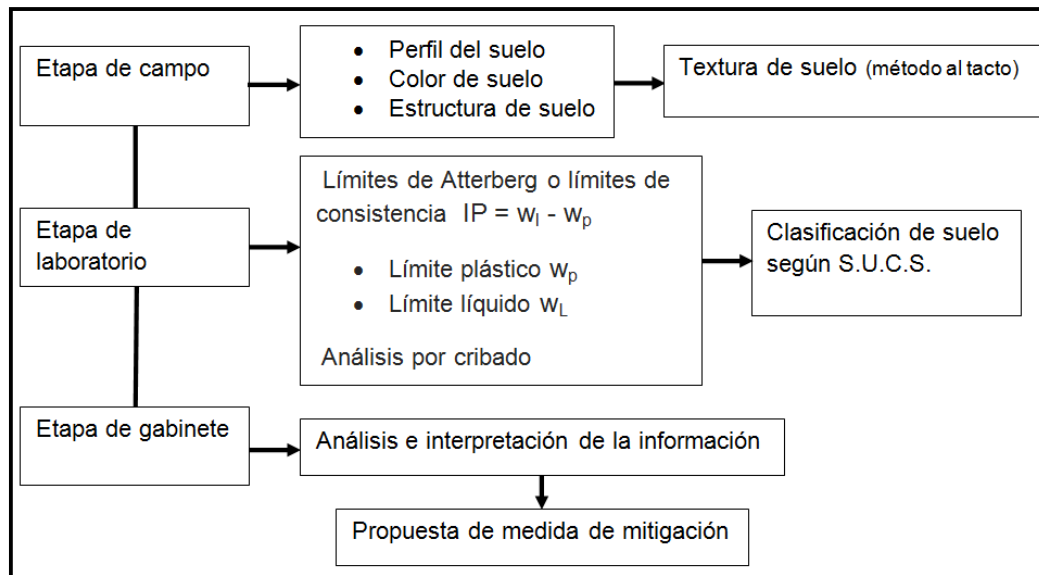
2.3 Laboratorio

Se secaron las muestras bajo sombra con el fin de perder humedad de manera natural, posteriormente se disgregaron todas las muestras extraídas en cada perfil para pasar en el tamiz 40 con el

objetivo de obtener las partículas más finas en las muestras para el posterior análisis de los límites de *Atterberg*.

Para el análisis de suelo se llevaron a cabo las etapas: campo, laboratorio y gabinete como se muestra en la gráfica 3.

GRÁFICA 3
DIAGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE SUELO



Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.3.1 Determinación del límite de *Atterberg*

a. Límite líquido

Límite líquido sirve para determinar la resistencia al corte de suelo a un determinado contenido de humedad. Para determinarlo se necesita el siguiente material y equipo: Tamiz 40, copa casagrande, ranurador, vasija de porcelana, espátula, piceta, cajitas de aluminio, balanza y horno.

El procedimiento es el siguiente:

1. La muestra debe ser igual o mayor de 300 g.

2. Disgregar la muestra después de traerla del campo, para secarla al horno a 110 °C durante 24 h, para que pierda humedad.
3. Pasar la muestra por el tamiz 40, para obtener las partículas más finas en la muestra de suelo.
4. Calibrar la copa Casagrande a 1 cm de altura respecto a la base.
5. Agregar en la vasija de porcelana muestras de suelo, luego agregar agua para darle consistencia al suelo.
6. Colocar el suelo con la espátula en la copa Casagrande.
7. Nivelar el suelo con la espátula hasta que tenga 1 cm de profundidad en el centro.
8. Una vez que la muestra se encuentre al nivel de la copa se realizará un corte que divide la pasta en dos partes en un surco que se realizará con un ranurador.
9. Después de ello se gira la manivela del aparato con la misma frecuencia. Una vez que el material se haya cerrado se determina el número de golpes que fueron necesarios para que se provocará el cierre.
10. Después se extrae cada mitad de suelo y se colocan por separado en recipientes de aluminio.
11. Pesar las muestras antes de llevarlas al horno, para que pierdan humedad. Para el registro de los datos del ensayo se utilizó el cuadro 3.

Para la determinación del contenido de humedad, se utiliza la fórmula hecha por Gardner, W.H:

$$W(\%) = ((m_1 - m_2) / m_2) * 100$$



Dónde: W= Contenido de humedad (%)
 m1= Peso de recipiente + suelo húmedo
 m2= Peso de recipiente + suelo seco

CUADRO 3
 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Muestra No.			
No. de golpes			
Peso recipiente + suelo húmedo (g)			
Peso recipiente + suelo seco (g)			
Peso recipiente (g)			
Peso suelo seco (g)			
Peso agua			
Contenido de humedad (%)			
Límite líquido			

Fuente: Elaboración propia. 2015.

Para la determinación del contenido del límite líquido, se utiliza el siguiente método de Lambe:

$$LL = W \cdot (G/25)^{\tan B}$$

Dónde: LL= Límite líquido
 W= Contenido de humedad
 G= Número de golpes
 tan B = pendiente de la línea de flujo (0,21 es una buena aproximación).

b. Límite plástico

Límite plástico se calcula para determinar la plasticidad de las arcillas, para ello se utiliza el siguiente material y equipo: Plato de evaporación de porcelana, espátula con una hoja flexible, placa de vidrio esmerilado, cazuela para secado, recipientes para muestra de contenido de humedad, balanza de precisión y horno.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Pasar la muestra por el tamiz 40, para tener las partículas más finas y realizar los ensayos de laboratorio.
2. Tomar la muestra de ensayo del material completamente homogeneizado y colocarlo en el plato de porcelana y mezclar bien con la espátula, y agua destilada, hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
3. Mezclar la muestra el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se combinen homogéneamente.
4. Tomar una porción de la muestra de ensayo.
5. Amasar la muestra entre las manos y luego hacerla rodar con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta formar rollitos de 3 mm de diámetro aproximadamente, conformarlo sólo con el peso de la mano, dándole un largo aproximado de 10 cm.
6. Repetir la operación hasta que el cilindro se forme grietas.
7. La muestra necesaria para este ensayo debe ser de 20 g en cada recipiente.
12. Después estos recipientes serán llevados al horno a 110 °C durante 24 h, con la intención que pierda humedad. Para el registro de los datos del ensayo se utilizó el cuadro 4.



CUADRO 4
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

Muestra No.			
Peso recipiente + suelo húmedo (g)			
Peso recipiente + suelo seco (g)			
Peso recipiente (g)			
Peso suelo seco (g)			
Peso agua			
Contenido de humedad (%)			
Límite plástico			

Fuente: Elaboración propia. 2015

Para la determinación del índice de plasticidad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$IP(\%) = (LL - LP)$$

Dónde: IP= Índice de plasticidad

LL= Límite líquido

LP= Límite plástico

CUADRO 5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD

IP	DESCRIPCIÓN
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Mediana plasticidad
20-40	Alta plasticidad
> 40	Muy alta plasticidad

Fuente: Crespo Villalaz. Mecánica de suelos y cimentaciones. Año 2014.

2.3.2 Análisis por cribado (granulométrico)

En el análisis granulométrico se determinan las porciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada. Para obtener un resultado satisfactorio, la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo.



El método que se utilizó fue por tamizado, para ello se utilizó una muestra seca, que se colocó en la batería de tamices, puestos en forma de descendente (de mayor a menor).

Para ello se utilizó: juego de tamices, máquina tamizadora, balanza de 3 kg y aproximación de 1 g, martillo, formón y cepillo.

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

1. La muestra de suelo debe ser representativa, es decir, con las mismas características del suelo en el lugar, para un suelo fino menor cantidad (450 g aproximadamente) que uno granular.
2. Colocar el juego de tamices en forma descendente de acuerdo a la abertura (de mayor a menor).
3. Colocar el suelo en la batería de tamices.
4. Colocar la batería con la muestra, en la máquina tamizadora durante 10 min para que el material pase a través de todos los tamices.
5. Pesarse las muestras de suelo retenidos en cada tamiz y registrar la información en una tabla, ver cuadro 6.

CUADRO 6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Abertura mm	Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Porcentaje de suelo retenido en cada tamiz	Porcentaje que pasa

Fuente: Elaboración propia. 2015

Columna 4 = (columna 3) / (masa total de suelo) x 100

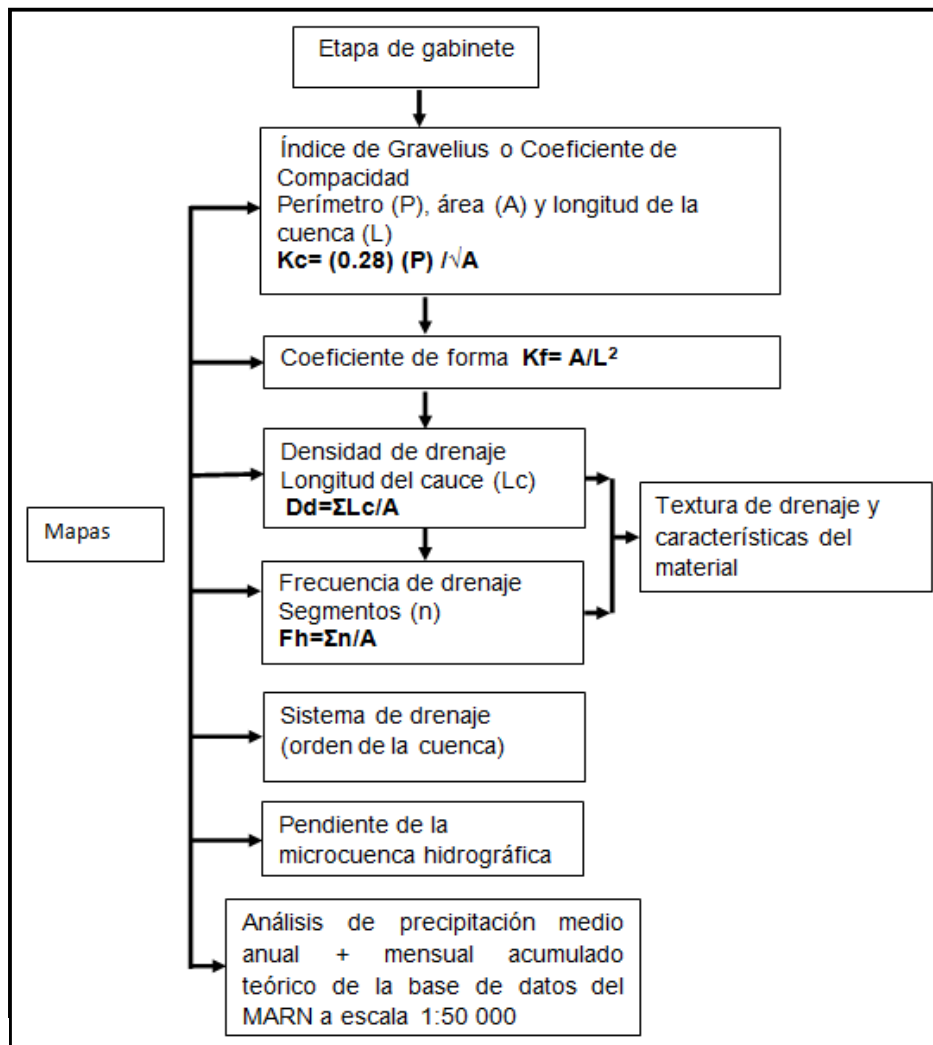


Los resultados del análisis por cribado se presentan en una gráfica semilogarítmica como una curva de distribución granulométrica (o tamaño de grano).

2.4 Gabinete final

En esta fase se utilizó principalmente el *software Arcgis 9.3* para obtener datos numéricos para hacer cálculos relacionados con la clasificación de la microcuenca. Los parámetros calculados son los que se muestran en la gráfica 4.

GRÁFICA 4
PROCESO PARA EL ANÁLISIS DE LA MICROCUENCA



Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.4.1 Parámetros para el análisis de la microcuenca

a. Índice de *Gravelius* o coeficiente de compacidad (K_c)

Designado por K_c e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. K_c se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parte aguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia (MONSALVE, 2000). La ecuación de este coeficiente corresponde a:

$$K_c = (0,28) (P) / \sqrt{A}$$

Donde: K_c = Coeficiente de compacidad
 P = Perímetro de la cuenca (km)
 A = Área de la cuenca (km²)

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuerte volúmenes de aguas de escurrimiento, es más acentuado cuando más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c mayor será la concentración de agua. Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro (cuadro 7).



CUADRO 7
ÍNDICE DE GRAVELIUS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
FORMA

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval - redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval - redonda a oval - alargada
Kc3	1,5 a 1,75	Forma oval – alargada a alargada

Fuente: ORTIZ .2004.

b. Coeficiente de forma (kf)

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (Lc). El ancho medio se obtiene cuando se divide el área de la cuenca por la longitud del cauce principal, por lo tanto el coeficiente de forma queda definido así:

$$Kf = B/Lc = A/Lc^2$$

Donde: B= Ancho medio de la cuenca (km)

Lc= Longitud de su cauce principal (km)

A= Área (km²)

Los valores que permiten interpretar y clasificar el factor de forma pueden verse en el cuadro 8.

CUADRO 8
FORMA DE LA CUENCA EN FUNCIÓN AL FACTOR DE
FORMA

Factor de forma	Forma de la cuenca
F > 1	Redondeada
F < 1	Alargada

Fuente: VILLON. 2002.

c. Densidad de drenaje (Dd)

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de esta:

$$Dd = \Sigma Lci/A$$



Donde: ΣL_{ci} = longitud total de los cauces de agua en (km)

A = área de la cuenca en (km²)

El índice y valores de drenaje interpretativo pueden verse en el cuadro 9.

CUADRO 9
ÍNDICE Y VALOR DE DRENAJE

Densidad de drenaje	km/km ²	Descripción
Baja	< 0,5	Cuenca con drenaje pobre
Moderada	0,5 – 1,0	Cuenca con drenaje normal
Alta	> 1	Cuenca excepcionalmente bien drenadas

Fuente: CIAF. 1971.

d. Frecuencia de drenaje (fh)

La frecuencia de drenaje se define según CIAF, 1971 como el número de segmentos de corrientes por el área de la cuenca drenada. Se expresa como:

$$F_h = n/A.$$

Donde: n = Segmentos

A = Área de la cuenca (km²)

En el cuadro 10 se aprecian los valores y la clasificación de frecuencia de drenaje.



CUADRO 10
ÍNDICE Y VALOR O FRECUENCIA DE DRENAJE

Frecuencia de drenaje	$Fh = \Sigma n/A$
Muy alta	$Fh > 40$
Alta	$20 > Fh < 40$
Media	$10 > Fh < 20$
Baja	$5 > Fh < 10$
Muy baja	< 5

Fuente: CIAF 1971.

e. Textura de drenaje

El análisis conjunto de densidad y frecuencia de drenajes determina la textura de drenaje como indicadores de la relación infiltración, declive, capacidad de infiltración, características texturales de las rocas y sedimentos que constituyen la geoforma y permite además inferir la permeabilidad relativa del material (cuadro 11).

CUADRO 11
ÍNDICE VALOR DE TEXTURA DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE	DENSIDAD	FRECUENCIA	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL
Gruesa	Baja	Baja a muy baja	Muy gruesa, permeabilidad alta y baja erodabilidad
Mediana	Moderada	Media	Gruesa, permeabilidad de media a alta y erodabilidad de media a baja
Fina	Alta	Alta	Media a fina, permeabilidad baja y erodabilidad alta
Muy Fina	Muy alta	Muy alta	Material de textura fina, permeabilidad muy baja y erodabilidad muy alta

Fuente: CIAF 1971.



f. Sistema de drenaje

Fernanda Gaspari *et. al.* (2009)¹² El sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica es el que constituyen el cauce principal y sus tributarios o afluentes. La forma en que estén conectados estos cauces en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del Sistema de Drenaje en la escorrentía superficial directa. Entre ellos se tienen:

Orden de la cuenca: Es un número que refleja el grado de ramificación del Sistema de Drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes premisas:

1. Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.
2. Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden n se forman cuando dos cauces de orden $n-1$ se unen.
3. Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes.
4. El orden de la cuenca es el mismo que el de su cauce principal a la salida.

g. Pendiente

La pendiente de la cuenca, es un parámetro muy importante en el estudio de toda la cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo, y

¹² Fernanda Gaspari. *et. al.* Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Universidad de la Plata. La Plata 2013.



la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a las crecidas. La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca, siendo la cota mayor y la cota menor, y la proyección horizontal de su longitud es lado más largo de la cuenca (VILLON, 2002).

Para la elaboración del mapa de pendientes se utilizó el *software ArcGis 9.3*. La base de datos que fueron utilizados son los diferentes valores de las curvas de nivel del área de investigación, que ayudó a que sea más preciso y así representar los cambios graduales o bruscos que se presenta en forma aleatoria sobre la superficie de la tierra (cuadro 12).

CUADRO 12
CLASIFICACIÓN DE LA PENDIENTE

Rango (Grados)	Descripción
0 – 5	Plano o casi a nivel
6 – 10	Ligeramente inclinado
11 – 15	Moderadamente inclinado
16 – 25	Fuertemente inclinado
26 – 35	Moderadamente empinado
36 – 45	Empinado
> 45	Muy empinado

Fuente: Elaboración propia en base a datos topográficos de la cuenca. 2015.

h. Precipitación

El análisis de la precipitación se utilizó la base de datos del MARN 2010, la cual se adaptó para el área de estudio.



CAPÍTULO 3

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Litoestratigrafía local

A continuación se presentan los resultados, la discusión de de los factores estratigráficos observadas en campo, estructurales y morfométricos, así como los límites de *Atterberg*, para tratar de relacionarlos con el fenómeno de ocurrencia de cárcavas en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz.

3.1.1 Lutita (Pt)

Esta unidad fue observada al inicio del caserío Nuevo Paquiul. En base a la información del grupo Verapaz del léxico estratigráfico se confirma que es parte de la Formación Sepur. Su coloración es grisácea. Se cree que se formó en un ambiente acuoso, la que se considera la más antigua, la orientación preferencial de los planos de estratificación de esta unidad es de $N180^0/30^0$ con espesores de 0,05 m hasta 0,20 m (fotografía 1 y anexo I).

En el área de estudio, esta unidad se presenta fracturada debido a esfuerzos noroeste a sureste; así mismo la estratificación se da de oeste a este y no presenta plegamiento ni basculamiento.

Esta Unidad de Lutitas está compuesta principalmente de carbonatos y minerales arcillosos (detrítico-carbonatada), de grano



fino, coloración grisácea, textura grumosa y abarca un 50 % del área bajo estudio (fotografía 1).

De acuerdo a lo anterior, se considera que este factor estratigráfico no afecta a la formación de cárcavas en el área debido a que las estratificaciones buzcan en contra de la dirección de éstas.

FOTOGRAFÍA 1
UNIDAD DE LUTITAS UBICADA AL NORTE DE LA
MICROCUENCA BAJO ESTUDIO



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.1.2 Coluvión (Qco)

Esta unidad se encuentra en la parte baja de la microcuenca, está compuesta por una mezcla de materiales heterogéneos, con una matriz arcillosa y arenosa con cantos de naturaleza silíceos que van desde 2 mm hasta 1cm de diámetro.

Forma un área de topografía ondulada o casi plana. En las cárcavas se observa que la superficie de la base del coluvión no es un material rocoso sino material tipo arenoso, que facilita la filtración de agua, que arriesga la estabilidad del talud. Aunque en

algunos sectores del área ya existen evidencias de los movimientos de masa y poseen una orientación preferencial hacia al sur. Este depósito no tiene una orientación preferencial y abarca un 25 % del área bajo estudio (fotografía 2).

Los resultados de los ensayos de suelo de esta unidad se muestran en las gráficas 10 y 11. Probablemente es uno de los factores que originan la formación de las cárcavas, pues está compuesta de una masa de materiales limo arcillosos (ML) de baja plasticidad.

Además, la vegetación que cubría esta unidad es bastante escasa, lo que influye en la rápida infiltración y saturación inmediata del suelo; esto causó a su vez la formación de las cárcavas como otro factor.

FOTOGRAFÍA 2
UNIDAD DE COLUVIÓN EN LA PARTE CENTRAL DE LA
MICROCUCENCA BAJO ESTUDIO



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.1.3 Aluvión (Qal)

Unidad que se encuentra en la parte baja de las quebradas fluviales y paralelas al río Chixoy; forma un depósito cuya dirección de flujo es hacia el este, contiene restos de rocas de caliza y areniscas, entre otras, el tamaño de los fragmentos se encuentran entre 5 cm a 30 cm de diámetro y en algunas partes hasta de algunos metros de diámetro, los clastos y los bloques están desordenados (fotografía 3).

Esta unidad estratigráfica no afecta de alguna manera la formación de las cárcavas, ya que se encuentra en parte más plana del área y paralela al río Chixoy, que contiene restos de materiales de diferentes tamaños que no muestran una orientación preferencial.

FOTOGRAFÍA 3
UNIDAD DE ALUVIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA
MICROCUENCA DEL AREA BAJO ESTUDIO



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.2 Geología estructural

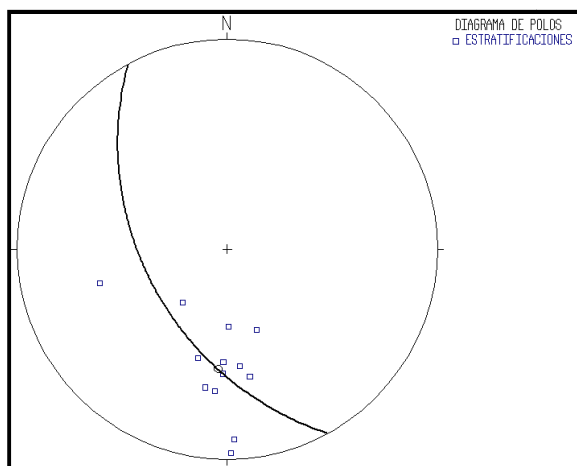
A continuación se analizan los datos estructurales tomados durante el caminamiento en la microcuenca bajo estudio. Las estructuras geológicas medidas son: los planos de estratificación y de fractura con sus correspondientes buzamientos.

3.2.1 Estratificación

La orientación promedio de los planos de estratificación de la Unidad de Lutitas que afloran en la microcuenca bajo estudio es de $N180^{\circ}/30^{\circ}$ (datos estructurales, anexo III)

Los polos de los planos de estratificación del área bajo estudio se muestran en la gráfica 5.

GRÁFICA 5
POLOS DE LOS PLANOS DE ESTRATIFICACIONES DEL AREA
BAJO ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2016.

Aparentemente, no es un factor que origine la formación a las cárcavas, porque la orientación de los estratos del área bajo estudio va de este a oeste y buzanan al norte así como se muestra en la gráfica 5, en contra de la pendiente y a la dirección de las cárcavas.

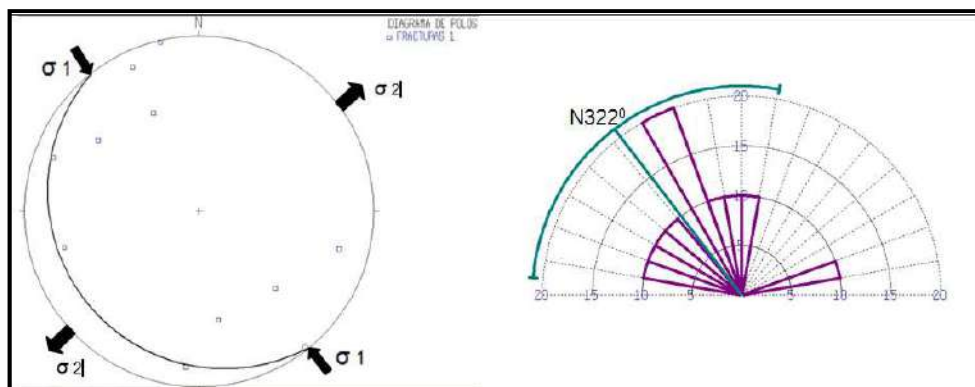
3.2.2 Fractura

Los datos de los planos de fracturas fueron obtenidos únicamente en la Unidad de Lutitas del área bajo estudio (mapa geológico anexo I) y como resultado de éstas, se muestra el diagrama de polos, donde los esfuerzos de compresión (σ_1) son de noroeste a sureste, mientras que la tensión (σ_2) es de noreste a suroeste

En base al diagrama de rosas (gráfica 6) se determina que la orientación preferencial de los planos de fractura es de $N322^0$.

De acuerdo a la gráfica 6, posiblemente sea uno de los factores que ayuden a dar inicio a la formación de las cárcavas, debido a que planos de estratificación poseen una orientación $N322^0$, lo que probablemente los esfuerzos de compresión (σ_1) del área son noroeste a sureste, mientras que la tensión (σ_3) es de noreste a suroeste, lo que provocaría al lado suroeste la liberación de tensiones y esfuerzos, lo que finalmente ayudaría a la formación de estas cárcavas pues provoca en el material una zona de distensión.

GRÁFICA 6
ANÁLISIS DE FRACTURA, CON ESFUERZOS DE *NW* A *SE* DEL
ÁREA BAJO ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2016.

3.3 Procesos degradacionales

3.3.1 Movimientos en masa

Estos movimientos de masa de tierra ocurren en la Unidad de Coluvión, la composición de masa es de granos finos y de arena. La vegetación es bastante pobre debido al aprovechamiento agrícola, el flujo de agua subterránea se ha hecho presente en esos lugares y también se suma como factor principal para esos movimientos de suelo (fotografía 4).

FOTOGRAFÍA 4
DESLIZAMIENTO ROTACIONAL OBSERVADO EN LA UNIDAD
DE COLUVIÓN, AL CENTRO DE LA MICROCUENCA BAJO
ESTUDIO



E:752476

N:1730123



E:752119

N:1730527

Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.



Estas remociones de masa que ocurren en la Unidad de Coluvión (Qco), no es un factor que originen las cárcavas, sino mas bien es una evidencia de que la Unidad Coluvial donde ocurren, está compuesta de materiales de grano fino con altas proporciones de arcilla que no son estables.

3.3.2 Cárcavas

Este tipo de erosión, es causada principalmente por flujo de agua subterránea y posible relación con la geología estructural. Este fenómeno aflora en la Unidad de Coluvión, con orientación preferencial de $N240^0$ y la pendiente es de 5^0 (fotografía 5).

FOTOGRAFÍA 5 CÁRCAVAS OBSERVADAS, LOCALIZADAS EN LA UNIDAD DE COLUVIÓN



E: 752227

N: 1730502

Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.4 Determinación del límite de *Atterberg*

3.4.1 Perfil del suelo

El material y equipo utilizado para realizar este perfil es el siguiente: Azadón, escalera, machete, brújula, cinta métrica de 30 m, bolsa plástica de 2 kg, etiquetas, marcadores, libreta de campo, agua destilada y solución de HCl al 10 %.

El perfil A tiene una profundidad de 18,32 m y el perfil B es de 10,12 m de profundidad.

Para la realización del perfil se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Se seleccionó el punto donde se realizó el perfil.
- b. Se limpió el área de interés con machete y azadón.
- c. Se delimitaron los horizontes observados, desde la superficie hasta el fondo de la cárcava.
- d. Se midió la profundidad de cada horizonte en base a su color.
- e. Se tomó una pequeña muestra de suelo, aproximadamente 3 g para determinar la presencia de carbonatos, en una caja de petri se realizó la prueba al dejar caer 1 ó 2 gotas de HCl al 10 %.
- f. Se observó la efervescencia, que confirmó la presencia de carbonatos. Se repitió esta operación para cada horizonte.
- g. Se tomó una muestra de 1,81 kg aproximadamente de cada horizonte, luego se dejó secar al aire bajo sombra, estas muestras sirvieron para los análisis de límites de *Atterberg*.
- h. Cada muestra se identificó para su posterior análisis, interpretación e interrelación.



En la fotografía 6a se muestra la toma de las muestras después de haber hecho la limpieza y delimitación en base a los colores de los suelos en su estado natural, la 6b muestra la base de 12 m.

En la fotografía 7a se muestra la limpieza y delimitación de las varias capas de suelo según color y en la 7b se observa la recolección de las muestras.

FOTOGRAFÍA 6 ELABORACIÓN DEL PERFIL A



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

FOTOGRAFÍA 7 ELABORACIÓN DEL PERFIL B



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

Aunque en cada perfil de suelo existían varias secciones de depósitos de materiales según el color, para llegar a definir cuantos horizontes de suelo existe en cada perfil obligatoriamente se utilizó el método tacto y vista así como aparece en la gráfica 2.



















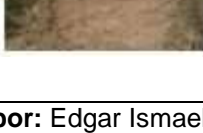

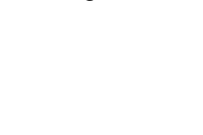



Las características físicas evaluadas para determinar la textura en el campo fueron las siguientes: color en su estado húmedo, estructura y consistencia.

En base a las características físicas mencionadas se determinó que en los perfiles A y B existen solo dos horizontes y un subhorizonte (gráfica 7).

El perfil A tiene una profundidad de 18,32 m, mientras que el perfil B tiene 10,12 m.



GRÁFICA 7
HORIZONTES DE SUELO DE LOS PERFILES A Y B

PERFIL A			PERFIL B		
Horizontes	Secciones	Espesor (m)	Horizontes	Secciones	Espesor (m)
O		1,00	O		0,70
		0,75			0,53
A		0,33	A		0,61
		0,58			0,38
		0,24			0,50
		0,35			0,19
		0,10			0,12
		0,87			0,10
A1		0,31	A1		0,29
		0,47			1,40
		0,44			5,30
		12			
		0,30			

Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.4.2 Color del suelo

La escala de *Munsell* es la que se utilizó en campo para determinar los colores de las diferentes secciones de suelo. Esta escala presenta una serie de muestras de colores expresados en función de tres elementos básicos: el matiz, la pureza y la intensidad. En el cuadro 13 se muestran los códigos de colores de los perfiles A y B.

CUADRO 13
COLORES DE HORIZONTES DE SUELO DE ACUERDO A LA
ESCALA DE MUNSELL

Perfil A			Perfil B		
Horizontes	Secciones	Color húmedo	Horizontes	Secciones	Color húmedo
O	0	7,5 YR 5/4	O	A	7,5 YR 5/4
A	1	7,5 YR 5/8	A	B	7,5 YR 4/3
	2	7,5 YR 6/2		C	10 R 3/3
	3	5 Y 6/3		D	10YR 6/2
	4	10 YR 2/6		E	10R 5/3
	5	5Y 6/2		F	5 Y 7/3
	6	7,5 YR 5/4		G	2,5 Y 7/4
	7	2,5 Y 6/3		H	2,5 Y 7/2
A1	8	7,5 YR 8/3	A1	I	2,5 Y 6/8
	9	7,5 YR 8/2		J	10 YR 8/2
	10	2,5 Y 7/3		K	7,5 YR 8/3
	11	2,5 Y 7/1			
	12	10 YR 5/3			
	13	7,5 YR 5/8			

Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.4.3 Estructura del suelo

Para la clasificación de los agregados de suelos en los perfiles A y B se usó como fundamento las descripciones que aparecen en el cuadro 2. Su resultado se muestra en el cuadro 14.



CUADRO 14
ESTRUCTURA DE SUELO DE LOS PERFILES A Y B

Perfil A				Perfil B			
Horizontes	Secciones	Estructura	Consistencia	Horizontes	Secciones	Estructura	Consistencia
O	0	Migajosa	Blando	O	A	Migajosa	Blando
A	1	Migajosa	Blando	A	B	Migajosa	Blando
	2	Migajosa	Blando		C	Migajosa	Blando
	3	Migajosa	Blando		D	Migajosa	Ligeramente duro
	4	Migajosa	Blando		E	Migajosa	Blando
	5	Migajosa	Ligeramente duro		F	Migajosa	Blando
	6	Migajosa	Blando		G	Migajosa	Blando
A1	7	Migajosa	Blando		H	Migajosa	Blando
	8	Granulas	Ligeramente duro		I	Migajosa	Blando
	9	Granulas	Ligeramente duro		J	Migajosa	Blando
	10	Migajosa	Blando		A1	K	Granulas
	11	Migajosa	Blando				
	12	Migajosa	Blando				
	13	Migajosa	Blando				

Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.4.4 Textura del suelo

El análisis de suelo en los perfiles A y B, para determinar la textura de los materiales se realizó en el campo al tacto y vista. Para determinar cada estructura de los horizontes de suelo, el porcentaje de arena, limo y arcilla son fundamentales. Esta metodología se detalla en la gráfica 2 y su resultado se muestra en el cuadro 15.

CUADRO 15
TEXTURA DEL SUELO DE LOS PERFILES A Y B

Perfil A			Perfil B		
Horizontes	Secciones	Textura	Horizontes	Secciones	Textura
O	0	Areno francosa	O	A	Areno francosa
A	1	Franco arenosa	A	B	Franco arenosa
	2	Franco arcillo arenoso		C	Franco arenosa
	3	Franco arcillo arenoso		D	Franco arenosa
	4	Arenoso		E	Arenoso
	5	Franco arcillo limoso		F	Franco arenosa
	6	Franco arcillo limoso		G	Franco arenosa
	7	Arenoso		H	Arenoso
A1	8	Arcillo limoso		I	Franco arcillo limoso
	9	Arcillo limoso		J	Franco limoso
	10	Franco arenosa		A1	K
	11	Franco arenosa			
	12	Franco arenosa			
	13	Arenoso			

Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

A continuación, se describen algunas características de los perfiles de suelo A y B, ver gráficas 8 y 9.

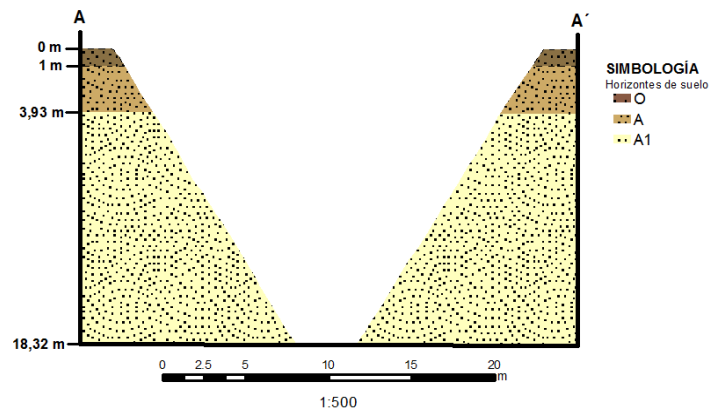
El horizonte O del perfil A tiene 1 m de espesor, mientras que el horizonte O del perfil B tiene 0,70 m de espesor; ambos con una estructura migajosa y de consistencia blanda debido a que el suelo se disgrega bajo muy débil presión y ambos horizontes tienen una textura areno francosa.

El horizonte A del perfil A posee un espesor de 2,93 m, mientras que el horizonte A del perfil B tiene 4,12 m, ambos con estructura dominante tipo migajosa, consistencia blanda y ligeramente duro, el perfil A domina la textura franco arcillo limosa y arenosa, mientras que para el perfil B domina la textura franco arenosa.



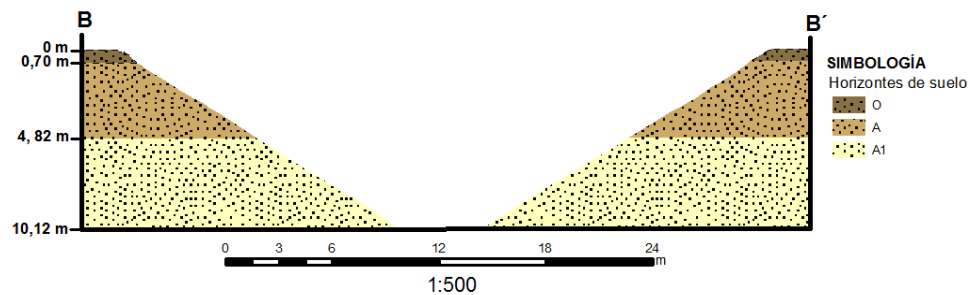
El subhorizonte A1 del perfil A tiene un espesor de 2,51 m, mientras que el subhorizonte A1 del perfil B tiene 5,30 m; la estructura dominante para el subhorizonte A1 del perfil A es migajosa y granulas, mientras que en el perfil B, la estructura A1 es de tipo granulas; la consistencia para ambos subhorizontes es de tipo blanda y ligeramente dura. El tipo de textura dominante para el perfil A es de tipo franco arenosa y para el perfil B, la textura es de tipo arcillo limosa (gráficas 8 y 9).

GRÁFICA 8
HORIZONTES DE SUELO DEL PERFIL A



Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

GRÁFICA 9
HORIZONTES DE SUELO DEL PERFIL B



Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

3.4.5 Límite líquido

Con las muestras de suelo obtenidas durante la elaboración de los perfiles en la cárcava, en el laboratorio se realizaron diferentes ensayos para determinar el límite líquido y límite plástico. Para ello se utilizó el siguiente material y equipo: Tamiz 40, copa Casagrande, ranurador, vasija de porcelana, espátula, piceta, cajas de aluminio, balanza y horno.

Después de haberla traído del campo las muestras suelo, se secaron bajo sombra aproximadamente tres días, con la intención de perder humedad, fotografías 8a y 8b. Posteriormente se disgregaron las muestras.

Posteriormente se pasaron las muestras por el tamiz 40 para realizar los ensayos de laboratorio. La finalidad fue de tener las partículas más finas en la muestra de suelo, fotografía 8c.

Para la determinación de los límites de *Atterberg* se inició con la obtención del límite líquido mediante la copa de Casagrande, para ello se mezcló la muestra de suelo con suficiente agua destilada hasta lograr una pasta homogénea y procuró que la humedad se distribuyera uniformemente, fotografía 9a.



FOTOGRAFÍA 8
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ESTABLECER LOS
LÍMITES DE ATTERBERG



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

Una vez calibrada la copa Casagrande a 1 cm de altura respecto a la base, se agregó la muestra de suelo hasta tener 1 cm de profundidad en el centro. Después, se realizó un corte con el ranurador que dividió la pasta en dos partes iguales. Posteriormente se giró la manivela del aparato con la misma frecuencia hasta que el material provocó el cierre, así se determinó el número de golpes necesarios para que ambas partes de la muestra se unieran, fotografía 9b.

Después se procedió a colocar cada mitad de las muestras en recipiente de aluminio por separado, fotografía 9c y luego fueron pesadas en una balanza, fotografía 9d. Posteriormente se llevaron al

horno a 110⁰ C durante 24 h, para que perdiera humedad, fotografía 9e.

FOTOGRAFÍA 9 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

Para la determinación del contenido de humedad, se utilizó la siguiente fórmula de hecho por Gardner, W.H:

$$W (\%) = ((m1 - m2)/m2) \times 100$$

Donde: W = Contenido de humedad (%)
 m_1 = Peso de recipiente + suelo húmedo
 m_2 = Peso de recipiente + suelo seco

Para determinar el límite líquido se utilizó la siguiente método de Lambe:

$$LL = w (N/25)^{\tan B}$$

Donde: LL = Límite líquido
 w = Contenido de humedad
 N = Número de golpes
 $\tan B$ = pendiente de la línea de flujo (0,21 es una buena aproximación).

Para la determinación del índice de plasticidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$IP (\%) = LL - LP$$

En los cuadros 16 y 17 se muestran los resultados del límite líquido de las muestras de suelo de la primera y segunda cárcavas.

CUADRO 16
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DEL PERFIL A

Muestra No.	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
Número de golpes	23	26	24	20	29	30	29	23	21	20	23	24	24	0
Peso recipiente (g) = A	15,8	15,4	15,4	15,7	15,4	15,4	16,0	15,9	15,7	15,4	15,7	15,6	15,4	15,1
A + suelo húmedo (g)	39,3	39,3	32,4	38,5	30,9	36,9	39,4	34,6	38,7	46,1	40,1	40,5	39,7	0
A + suelo seco (g)	31,4	31,4	27,0	30,4	25,8	29,8	31,4	28,6	31,3	37,2	31,2	32,3	32,7	0
Peso suelo seco (g)	15,6	16,0	11,6	14,7	10,4	14,4	15,4	12,7	15,6	21,8	15,5	16,7	17,3	0
Peso agua	7,9	7,9	5,4	8,1	5,1	7,1	8	6	7,4	8,9	8,9	8	7	0
Contenido de humedad (%)	25,16	25,16	20	26,64	19,77	23,83	25,48	20,98	23,64	23,92	28,53	24,77	21,41	0
Límite líquido	24,91	25,28	19,90	25,93	20,12	24,36	25,94	20,77	23,14	23,28	28,03	24,64	21,31	0

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

CUADRO 17
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DEL PERFIL B

Muestra No.	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK
No. De golpes	20	0	0	0	25	20	27	0	24	23	23
Peso recipiente (g) = A	15,5	15,8	15,4	15,9	15,6	15,7	15,1	15,8	15,8	15,4	15,9
A + suelo húmedo (g)	33,8	0	0	0	35,0	40,0	36,8	0	37,3	41,8	39,6
A + suelo seco (g)	28,6	0	0	0	28,9	31,3	29,4	0	29,3	32,9	31,7
Peso suelo seco (g)	13,1	0	0	0	13,3	15,6	14,3	0	13,5	17,5	15,8
Peso agua	5,2	0	0	0	6,1	8,7	7,4	0	8	8,9	7,9
Contenido de humedad (%)	18,18	0	0	0	21,1	27,80	25,17	0	27,30	27,05	24,92
Límite líquido	17,70	0	0	0	21,1	27,06	25,41	0	27,17	26,79	24,67

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

3.4.6 Límite plástico

El límite plástico es el contenido de humedad de suelo al cual un cilindro de este mismo, se rompe o resquebraja al ser amasado, y presenta un diámetro de 3 mm. Este ensayo es muy subjetivo, depende de la persona que lo realice, ya que debe poseer un diámetro de 3 mm y 10 cm de largo aproximadamente.

Para este ensayo se utilizó el siguiente material y equipo: Plato de evaporación de porcelana, espátula con una hoja flexible, placa de vidrio esmerilado, cazuela para secado, recipientes para muestra de contenido de humedad, balanza de precisión y horno.

El procedimiento fue el siguiente:

- a. Se pasó la muestra de suelo por el tamiz 40, con la finalidad de obtener las partículas más finas presentes en la muestra de suelo, fotografía 10a.
- b. Se tomó la muestra de ensayo del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz 40, y se colocó en el plato de evaporación y mezcló completamente con agua destilada, hasta tener una pasta suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
- c. Se mezcló la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se combinen homogéneamente.
- d. Se tomó una porción de la muestra de ensayo acondicionada.
- e. Se amasó la muestra entre las manos y luego se hicieron rollitos de 3 mm de diámetro aproximadamente, con la palma de la mano, sobre la placa de vidrio. El largo de cada rollito fue de 10 cm aproximadamente, fotografía 10b.

- f. Se repitió la operación hasta que en el cilindro se formen grietas.
- g. Se repitieron las etapas anteriores con dos porciones más de la muestra de ensayo, hasta completar el 50 % de la muestra.
- h. Se reunieron las fracciones de rollitos agrietados y se colocaron en cada recipiente. Para determinar y registrar su humedad la cual fué el porcentaje de humedad que corresponde al límite plástico, fotografía 10c.
- i. La muestra mínima para este ensayo fue de 20 g, fotografía 10d.
- j. Después estos recipientes fueron llevados al horno a 110 °C durante 24 h, con la intención de perder humedad, fotografía 10e.



FOTOGRAFÍA 10 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO



Tomado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

Los datos que se muestran en los cuadros 18 y 19, son los que fueron necesarios para determinar el límite plástico de las muestras de suelo de la primera y segunda cárcava.

CUADRO 18
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DEL PERFIL A

Muestra No.	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
Peso recipiente (g) = A	15,7	15,6	15,7	15,3	15,4	15,5	15,8	15,5	15,9	15,9	15,5	15,7	15,7	15,3
A + suelo húmedo (g)	36,1	37,0	35,9	36,7	36,7	36,1	37	36,6	37	36,4	36,7	36,4	37,3	0
A + suelo seco (g)	30,4	31,8	30	30,5	30,7	30,1	21,3	30,7	31,1	30,9	30,7	31,2	31,9	0
Peso suelo seco (g)	14,7	16,2	14,3	15,2	15,3	14,6	15,5	15,2	15,2	15	15,2	15,5	16,2	0
Peso agua	5,7	5,2	5,9	6,2	6	6	5,7	5,9	5,9	5,5	6	5,2	5,4	0
Contenido de humedad (%)	18,75	20,19	19,67	20,32	19,54	19,93	18,97	19,21	18,97	17,79	19,54	16,67	16,92	0
Límite plástico	18,75	20,19	19,67	20,32	19,54	19,93	18,97	19,21	18,97	17,79	19,54	16,67	16,92	0

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

CUADRO 19
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DEL PERFIL B

Muestra No.	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK
Peso recipiente (g) = A	15,8	15,7	15,8	15,5	15,5	15,7	15,3	15,7	15,7	15,8	15,5
A + suelo húmedo (g)	36,8	0	0	0	35,9	36,4	36,5	0	36,6	37,8	36,2
A + suelo seco (g)	31,9	0	0	0	30	30,4	30,3	0	30,4	31,2	30,4
Peso suelo seco (g)	16,1	0	0	0	14,5	14,7	15	0	14,7	15,4	14,9
Peso agua	4,9	0	0	0	5,9	6	6,2	0	6,1	6,6	5,8
Contenido de humedad (%)	15,36	0	0	0	19,67	20,46	20,46	0	20,39	21,15	19,08
Límite plástico	15,36	0	0	0	19,67	20,46	20,46	0	20,39	21,15	19,08

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

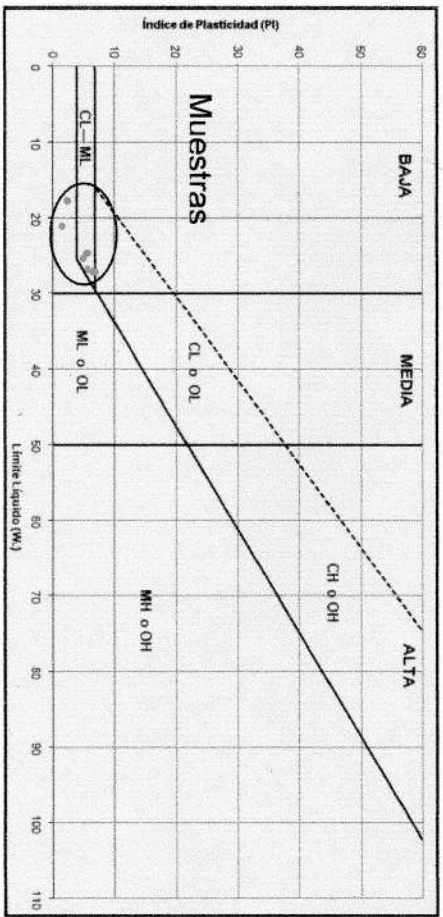
En el cuadro 20 se encuentran los datos para determinar del índice de plasticidad, y se corrobora con la gráfica 10 para la clasificación de los suelos, se trata de suelos limos arcillosos (ML) de baja plasticidad.

CUADRO 20
ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL PERFIL A

Muestra No.	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13
Limite líquido	24,91	25,28	19,90	25,93	20,12	24,36	25,94	20,72	23,14	23,28	28,03	24,64	21,31	0
Limite plástico	18,75	20,19	19,67	20,32	19,54	19,93	18,97	19,21	18,97	17,79	19,54	16,67	16,92	0
Índice de plasticidad	6,16	5,09	0,23	5,61	0,58	4,43	6,97	1,52	4,17	5,31	8,49	7,97	4,39	0

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

GRÁFICA 10
CLASIFICACIÓN DE SUELO DEL PERFIL A



Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.



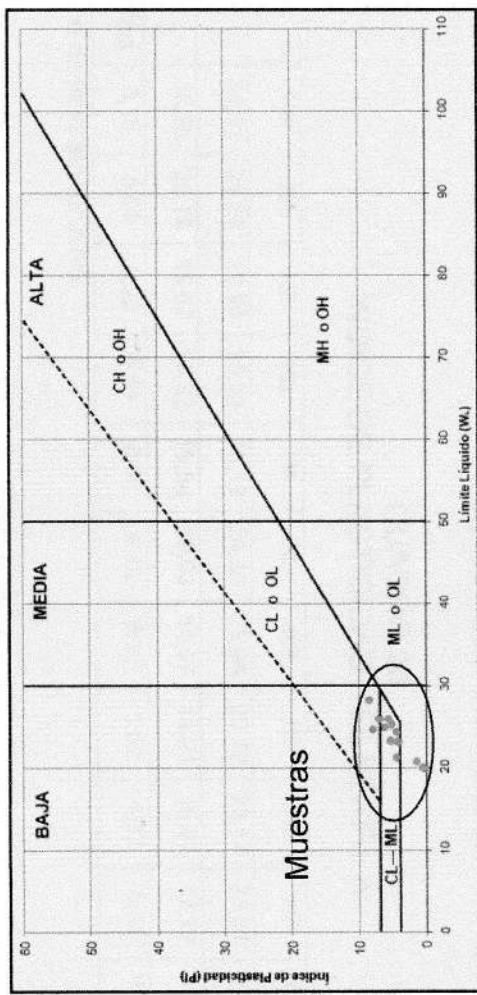
En el cuadro 21 se encuentran los datos para determinar del índice de plasticidad, mientras que en la gráfica 11 la clasificación de los suelos, se trata suelos limos arcillosos (ML) de baja plasticidad.

CUADRO 21
ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD DEL PERFIL B

Muestra No.	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK
Limite liquido	17,70	0	0	0	21,10	27,06	25,41	0	27,17	26,79	24,67
Limite plástico	15,36	0	0	0	19,67	20,46	20,46	0	20,39	21,15	19,08
Índice de plasticidad	2,34	0	0	0	1,43	6,6	4,95	0	6,78	5,64	5,59

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

GRÁFICA 11
CLASIFICACIÓN DE SUELO DEL PERFIL B



Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.



De acuerdo a los resultados de laboratorio y basados en las muestras recolectadas, se evidencia que los suelos del coluvión donde se generaron las cárcavas si es un factor que ha ayudado a la formación de este tipo de erosión.

En el cuadro 22 se muestra el resumen de los resultados de la granulometría, límites líquido, plástico e índice de plasticidad de las muestras de suelo, en conjunto con SUCS, se determina que son suelos limo arcillosos (ML) de baja plasticidad, pues estos suelos limo arcillosos tienden a fluir al aumentar su contenido de agua.

Entonces, posiblemente los suelos de las cárcavas fueron saturados de agua y por esto se provocó la inestabilidad del suelo y el corrimiento del material.

CUADRO 22
BASE DE DATOS GRANULOMÉTRICA PARA LA
CLASIFICACIÓN DE LOS HORIZONTES DE SUELOS

Horizontes	Perfil A		Perfil B	
	A	A1	A	A1
Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa	Porcentaje que pasa	Porcentaje que pasa	Porcentaje que pasa
4.75	89,36	99,12	94,54	100
4	86,47	94,83	91,19	100
1	61,47	74,89	73,40	83,43
0.5	38,84	54,2	41,89	57,61
0.425	33	48,41	21,04	50,50
0.25	31,88	36,97	18,01	26,53
0.18	16,66	21,94	9,96	8,45
0.125	11,16	11,15	5,42	6,83
0.053	7,34	5,72	5,02	2,43
0.045	0,96	0,01	0,78	2,36
L.L	23,17	24,08	25,50	24,67
L.P	19,69	17,98	20,42	19,08
I.P	3,49	6,07	5,08	5,59
SUCS	ML	ML	ML	ML

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.



3.5 Análisis por cribado (Granulometría)

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio como aparecen en los cuadros 23 y 24 se utilizaron para determinar las curvas de distribución de tamaño de las partículas (curva granulométrica) de los horizontes de suelo donde se formaron las cárcavas. Estas curvas de distribución son las que aparecen en las gráficas 12 y 13.

Según la gráfica 12 se concluye que los horizontes A y A1 del perfil A se clasifican como materiales areno limosos.

En la gráfica 13 se muestra que los horizontes A y A1 del perfil B se clasifican como materiales areno limosos de grano grueso a fino.

Esta clasificación de suelo (en base a la granulometría) da a entender que son suelos inestables al aumentar su contenido de agua, por lo que se cree que fue uno de los factores en la formación de las cárcavas en el área.

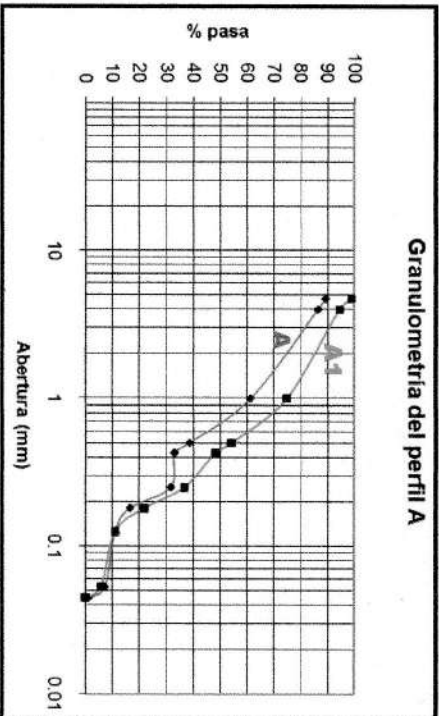


CUADRO 23
DATOS DEL ENSAYO POR CRIBADO DEL PERFIL A

H O R I Z O N T E S	Tarniz No.	Abertura (mm)															
		4	5	18	35	40	60	80	120	270	325						
A	Masa de suelo retenido en cada tarniz (g)	55,63	15,12	130,75	118,35	30,54	5,85	79,62	28,78	20	33,37	4,99					
	Porcentaje retenido en cada tarniz	10,64	2,89	25	22,63	5,84	1,12	15,22	5,50	3,82	6,38	0,96					
	Porcentaje que pasa	89,36	86,47	61,47	38,84	33	31,88	16,66	11,16	7,34	0,96	0					
A1	Masa de suelo retenido en cada tarniz (g)	4,61	22,43	104,27	108,21	30,26	59,85	78,63	56,41	28,40	29,87	0,06					
	Porcentaje retenido en cada tarniz	0,88	4,29	19,94	20,69	5,79	11,44	15,03	10,79	5,43	5,71	0,01					
	Porcentaje que pasa	99,12	94,83	74,89	54,2	48,41	36,97	21,94	11,15	5,72	0,01	0					

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

GRÁFICA 12
PRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL PERFIL A



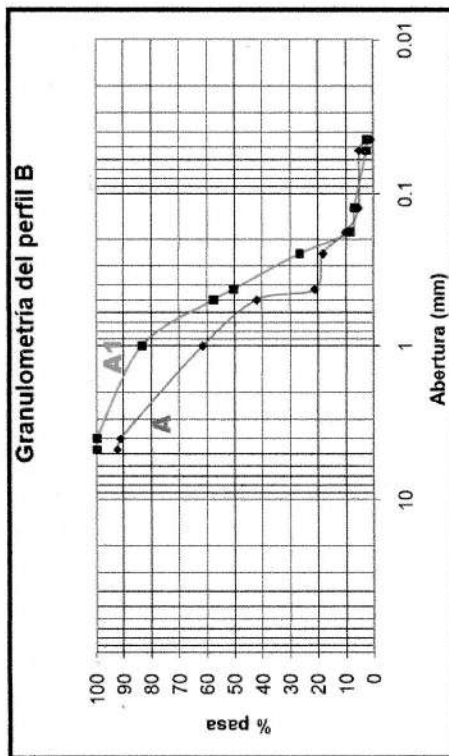
Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

CUADRO 24
DATOS DEL ENSAYO POR CRIBADO DEL PERFIL B

Tamiz No.		4	5	18	35	40	60	80	120	270	325
Abertura (mm)		4,75	4	1	0,5	0,425	0,25	0,18	0,125	0,053	0,045
H O R I Z O	Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	39,03	7,08	92,94	164,81	109,07	15,87	42,12	23,75	2,09	22,16
	Porcentaje retenido en cada tamiz	7,46	1,35	17,78	31,51	20,85	3,03	8,05	4,54	0,40	4,24
A	Porcentaje que pasa	92,54	91,19	73,40	41,89	21,04	18,01	9,96	5,42	5,02	0,78
	Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	0	0	86,66	135,04	37,18	125,35	94,56	8,49	22,99	0,39
N T E S	Porcentaje retenido en cada tamiz	0	0	16,57	25,82	7,11	23,97	18,08	1,62	4,40	0,07
	Porcentaje que pasa	100	100	83,43	57,61	50,50	26,53	8,45	6,83	2,43	2,36

Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.

GRÁFICA 13
PRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL PERFIL B



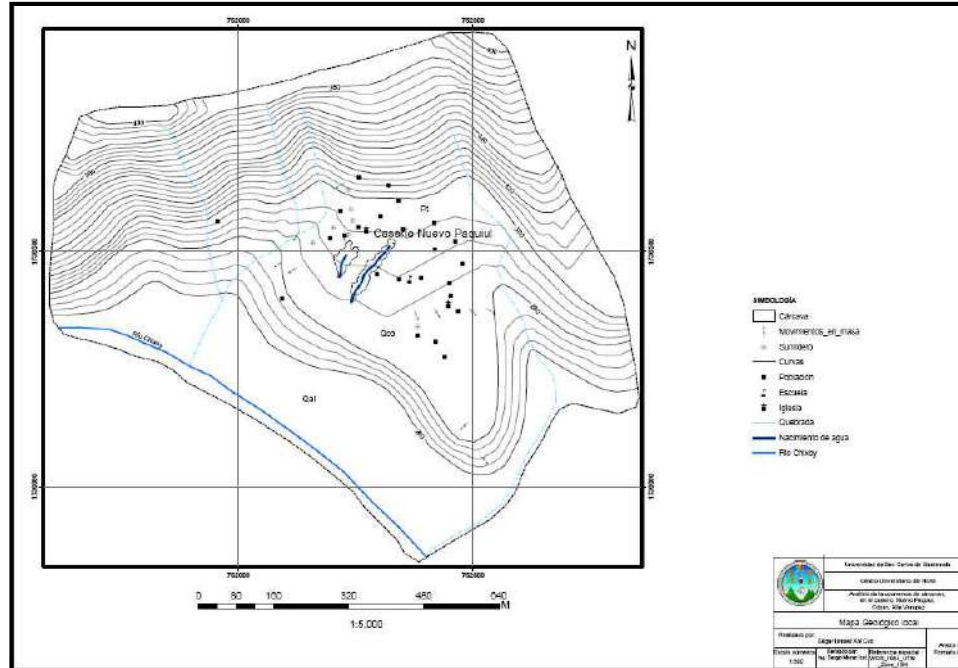
Fuente: Investigación de laboratorio, 2016.



3.6 Análisis de los parámetros de la microcuenca

A continuación se presenta el mapa 5 que muestra el área de la microcuenca bajo estudio, ya que en ella se encuentran las cárcavas formadas y algunos otros movimientos de masa ocurridos.

MAPA 5
MICROCUENCA BAJO ESTUDIO



Fuente: Base de datos SIG-MAGA y mapa topográfico Chamá 2061 I escala 1: 50 000 del IGN.

También se observa el cuadro 25, donde aparecen mediciones básicas de la microcuenca, necesarias para realizar algunos cálculos para utilizarlos en las ecuaciones de los parámetros morfométricos.

CUADRO 25
MEDICIONES BÁSICAS DE LA MICROCUENCA BAJO ESTUDIO

Parámetro	Simbología	Valor
Área	A	0,882 741 km ²
Perímetro	P	3,798 292 km
Longitud cauce principal	L	0,948 502 km

Fuente: Investigación en la etapa de gabinete, 2016.

A continuación se analizan los parámetros propios del área, con el fin de relacionarlas con la formación de cárcavas en dicha microcuenca. En base a los resultados de las ecuaciones ya establecidas y junto con los otros análisis específicamente del área se tomaron decisiones y se realizaron recomendaciones para evitar un desastre mayor que pueda ocasionar las pérdidas de vidas humanas.

3.6.1 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc)

La ecuación de este coeficiente corresponde a:

$$Kc = (0,28) (P) / \sqrt{A}$$

Donde: Kc = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

$$Kc = (0,28) (P) / \sqrt{A}$$

$$Kc = (0,28) (3,798\ 292) / \sqrt{0,882\ 741}$$

$$Kc = 1,32$$

Este índice de compacidad o $Kc = 1,32$ corresponde a una microcuenca que tiene una forma oval-redonda oval-alargada, según Ortiz (2004).

No es un factor que ayude a dar origen a las cárcavas, solamente se estableció para determinar la forma de la microcuenca, en base al perímetro y área de la misma. En función a ésta, $Kc = 1,32$, lo que indica que la microcuenca tiene forma oval-alargada.

3.6.2 Coeficiente de forma (Kf)

La ecuación para determinar el valor de Kf está definido como:



$$K_f = B/L_c = A/L_c^2$$

Donde: B = Ancho medio de la cuenca

L_c = Longitud de su cauce principal

A = Área

Cálculo del ancho medio de la cuenca (B)

$$B = A/L_c$$

$$B = 0,882\ 741/0,948\ 502$$

$$B = 0,931\ \text{km}$$

Entonces:

$$K_f = 0,931/0,948\ 502 = 0,882\ 741 / (0,948\ 502)^2$$

$$K_f = 0,982\ \text{km}$$

Según lo anterior, la microcuenca hidrográfica del caserío Nuevo Paquiul tiene un factor de forma $F = 0,982 < 1$, que indica una microcuenca alargada según VILLON (2002).

Este parámetro no es un factor que ayude a dar origen al fenómeno, simplemente clasifica teóricamente la forma en base al ancho medio, longitud de su cauce principal y al área. Donde $K_f = 0,982\ \text{km} < 1$ que indica que la microcuenca tiene una forma alargada, que apoya la clasificación por el índice de Gravelius.



3.6.3 Densidad de drenaje (Dd)

La ecuación que le corresponde a este parámetro es:

$$Dd = \Sigma L_{ci}/A$$

Donde: ΣL_{ci} = longitud total de los cauces de agua en km

A = área de la cuenca en km²

CUADRO 26
LONGITUD TOTAL DE LOS CAUCES DE AGUA

Cauces	Distancia (km)
Nacimiento de agua	0,648 63
Quebradas	1,801
Río Chixoy	0,948 502
Total	3,398

Fuente: Investigación en la etapa de gabinete, 2016.

$$Dd = \Sigma L_{ci}/A$$

$$Dd = 3,398 / 0,882 741$$

$$Dd = 3,850 \text{ km/km}^2$$

La densidad de drenaje es de 3,850 >1, representa un valor alto e indica zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables.

Literalmente este parámetro indica que posiblemente es uno de los factores en la formación de las cárcavas, porque $Dd = 3,850 \text{ km/km}^2 > 1$, que representa un valor alto e indica zonas con poca cobertura vegetal, fácilmente erosionables y eso es exactamente lo que ocurre en el área de investigación; razón por la cual las raíces de las plantas facilitan el desplazamiento de masas de suelo.

3.6.4 Frecuencia de drenaje (Fh)

La ecuación correspondiente a este parámetro se expresa como: $F_h = n/A$.

Donde: $n =$ Segmentos

$A =$ Área de la cuenca

$$F_h = (n)/(A)$$

$$F_h = (4/0,882\ 741)$$

$$F_h = 5,664 \text{ número de segmentos/km}^2$$

La frecuencia de drenaje es de 5,664, representa un valor bajo e indica permeabilidad alta y baja erodabilidad.

En base al resultado obtenido, se clasifica la microcuenca con frecuencia de drenaje baja.

Teóricamente, si es posible que este parámetro provoque la formación de las cárcavas, resulta que $F_h = 5,664$, indica que la microcuenca es de frecuencia baja y permeabilidad alta, que daría a entender que absorbe mucha agua hasta llegar a un punto donde el suelo pueda fluir, posiblemente fue lo mismo que ocurrió con los materiales del coluvión, donde dio como resultado la formación de las cárcavas.

3.6.5 Textura de drenaje

Según el cuadro 10, la densidad de drenaje es alta y la frecuencia de drenaje es baja a muy baja, por lo tanto, la textura de drenaje va de fina a gruesa, lo que indica que los materiales varían desde fino a grueso, mientras que la



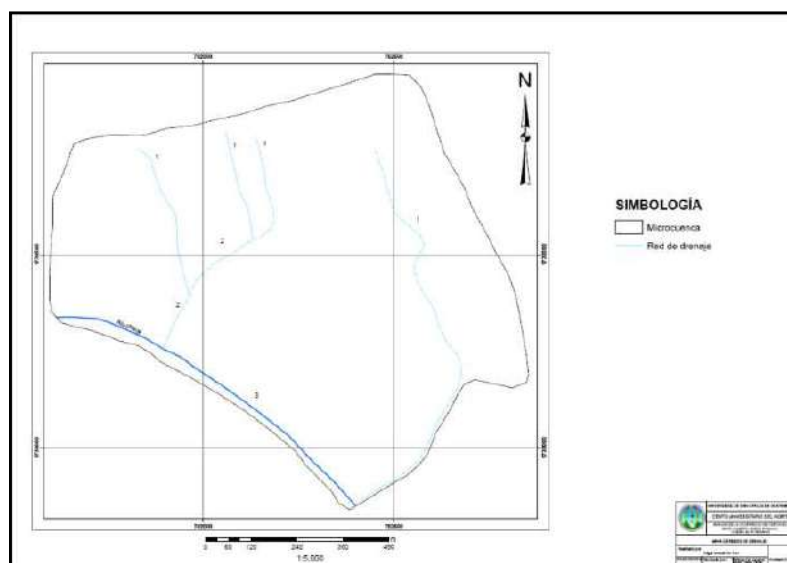
permeabilidad de los mismos desde baja a alta y la erodabilidad sería alta a baja.

Este parámetro no es un factor que ayude a dar origen a la formación de las cárcavas, simplemente es un indicador de la relación de la capacidad de infiltración y características texturales de las rocas. Según los resultados de los parámetros anteriores, la densidad de drenaje es alta y la frecuencia de drenaje es baja, por lo tanto los materiales varían de fino a grueso, mientras que la permeabilidad de los mismos desde baja a alta como se describe el cuadro 10.

3.6.6 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje de la microcuenca hidrográfica bajo estudio está constituido como cauce principal el río Chixoy. La clasificación de los cauces de la cuenca es de tercer orden y la forma de los redes es de tipo dendrítico, así como se observa en el mapa 6.

MAPA 6
SISTEMA DE DRENAJE DE LA MICROCUENCA BAJO ESTUDIO



Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.



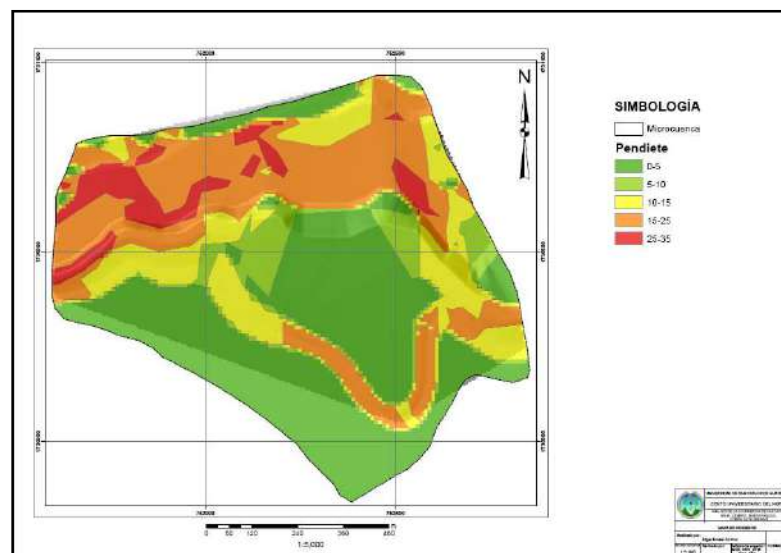
El sistema de drenaje es uno de los factores que probablemente ayude a generar las cárcavas, porque según el mapa 6, los cauces en la microcuenca son de tercer orden, indica que existe mucha infiltración que podría provocar saturación y resultado de ésta, las formaciones de masa o remociones en masa que conlleva la formación de cárcavas.

3.6.7 Pendiente

La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca, (la cota mayor menos la cota menor), y la proyección horizontal de su longitud (el lado más largo de la cuenca) (VILLON, 2002).

En base a los datos topográficos de la microcuenca bajo estudio se clasifica desde plano (en la parte más baja) hasta moderadamente empinado en la parte más alta (mapa 7).

MAPA 7
PENDIENTE DE LA MICROCUENCA BAJO ESTUDIO



Elaborado por: Edgar Ismael Xol Cuc, 2016.

Según el mapa 7, no es un factor de formación de cárcavas, debido a que la pendiente donde se formaron éstas es de 5° , lo que indica que es un lugar plano, según la clasificación de tipos de pendientes del lugar.

3.5.8 Precipitación

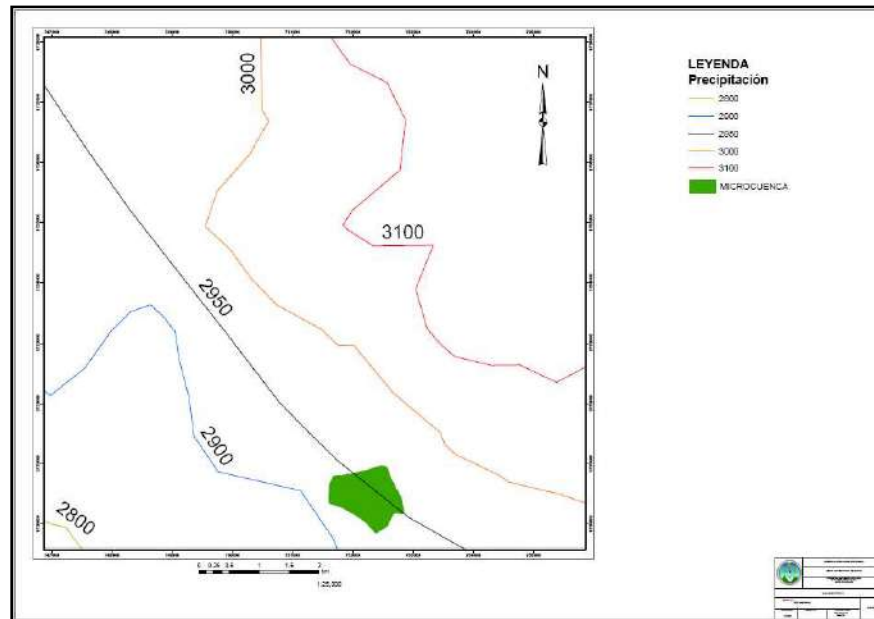
Los datos de precipitación que se usaron son los del MARN, estos han sido lo más recientes y exactos en la actualidad, debido a que los valores han sido calculados en base a formulas matemáticas en el año 2010.

Y por lo tanto, el área de investigación que se ubica en la sierra plegada de Chamá, la precipitación anual es de 2 950 mm anuales.

Este puede ser uno de los factores que ayuda a dar origen a las cárcavas, porque cuando hay intensas lluvias por un largo tiempo, el suelo coluvial puede sobresaturarse y fluir fácilmente, por lo que daría lugar a la formación de otras cárcavas. El mapa 8 muestra que la zona donde se encuentra el área, la precipitación anual es de 2 950 mm anuales según los datos del MARN.



MAPA 8 ISOYETAS DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA MICROCUENCA BAJO ESTUDIO



Fuente: Base de datos del MARN (2010).

Finalmente y según lo indicado en los apartados anteriores, se concluye que los factores estratigráficos, estructurales y morfométricos, son factores que ayudan a dar origen a la formación de las cárcavas, por el contrario, los estratos de la Unidad de Lutitas buzan en contra de la pendiente y a la dirección de las cárcavas. Como las Lutitas son bastante blandas, generalmente producen coluviones de grano fino con porciones altas de arcillas, facilitan este tipo de erosión (formación de cárcavas).

Mientras tanto, la Unidad de Coluvión que se ha formado es uno de los factores que da origen a la formación de las cárcavas debido a que está compuesto de una masa de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos o fragmentos de rocas depositados por la lluvia, los cuales se

han depositado en la parte baja de la ladera y su espesor varía desde centímetros hasta un poco más de 20 m.

No cabe duda mencionar que esta Unidad de Coluvión cubría un manto acuífero que buscó estabilizar su presión piezométrica, por lo que finalmente dio origen a las cárcavas.

En otro orden, la plasticidad y el tipo de suelos (gráficas 10 y 11) muestran que es uno de los factores en la ocurrencia de las cárcavas debido a que en el coluvión donde se generaron éstas es mayor el contenido de limos y arcillas. Estos coluviones limo arcillosos (ML) de baja plasticidad tienden a tener menor cohesión y al mismo tiempo mayor espesor, por lo que fluyen al aumentar su contenido de agua, especialmente cuando éste se acerca al límite líquido.

Por esta razón fue importante analizar la humedad de las muestras de suelo en su estado saturado, pues se determinó así (cuadros 15 y 16) la posibilidad de que se produzcan más cárcavas o remociones de masa.

Debe recordarse que el coluvión posee suelos limo arcillosos (ML) de baja plasticidad y baja permeabilidad, pero alta porosidad y acumula grandes cantidades de agua, por lo que estos suelos tienen relaciones de vacíos muy grandes que generan humedades fácilmente superiores al límite líquido. Es en base a esto y de acuerdo al análisis de los resultados, que estos materiales del coluvión donde se generaron las cárcavas, son muy susceptibles a este tipo de erosión.



Finalmente, los resultado de la geología estructural de las fracturas del área bajo estudio si influyen como posibles factores que den origen a las cárcavas, debido a que los esfuerzos de compresión (σ_1) son de noroeste a sureste, mientras que la distensión (σ_3) es de noreste a suroeste (paralelo a la dirección de las cárcavas). Este esfuerzo de distensión (σ_3) posiblemente es el que originó la formación de éstas.

En otro orden, se puede indicar que otros factores teóricos que ayudaron a entender el origen a las cárcavas en la microcuenca son los parámetros morfométricos tales como el índice compacidad $K_c = 1,32$ que indica una forma de la microcuenca oval-alargada; el factor de forma $F = 0,98 < 1$, que se trata de una microcuenca alargada; la densidad de drenaje es de $3,850 > 1$ indica una zona con poca cobertura vegetal y suelos fácilmente erosionables.

Además, la frecuencia de drenaje es de $5,664$, que indica permeabilidad alta y baja erodabilidad, por lo tanto la textura de drenaje va de fina a gruesa, lo que indica que los materiales varían desde fino a grueso y lo muestran los ensayos de laboratorio de suelo, es entonces que literalmente generaría las cárcavas.



CONCLUSIONES

General

Se determinó que la génesis de la formación de las cárcavas en el caserío Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz, se debe principalmente a un manto acuífero que afloró. El coluvión que cubría medio acuífero está conformado por suelos limo arcillosos (ML) de baja plasticidad (según los resultados de los límites de *Atterberg*) y sistema de movimiento de dominio dúctil, con factor determinante por la litología y geología estructural, lo que propició la conformación de las cárcavas.

Específicas

- a. Se identificaron en la microcuenca bajo estudio tres unidades litoestratigráficas, desde la más antigua son: Lutita (Pt) que está compuesta de carbonato y minerales arcillosos, de grano fino, coloración grisácea y textura grumosa, Coluvión (Qco) compuesta por una mezcla de materiales heterogéneos, con una matriz arcilloso, y Aluvión (Qal) compuesta de restos de rocas calizas y areniscas.
- b. Se determinó que la orientación preferencial de las estratificaciones del área es de $N180^0/30^0$ con buzamiento hacia el norte
- c. La orientación promedio de los planos de fracturamiento es de $N322^0$, indica que los esfuerzos de compresión (σ_1) son hacia al noroeste a sureste, mientras que la tensión (σ_3) es de noreste a suroeste, este último esfuerzo se suma como un factor importante en la formación de las cárcavas.



- d. Se estableció con base a la clasificación de suelos de Casagrande, que las muestras de suelos de las cárcavas son limo arcillosos (ML) de baja plasticidad.
- e. Se determinó en base a la clasificación física de los suelos que el horizonte O para ambos perfiles tiene una textura areno francosa, mientras que para el horizonte A para la perfil A domina la textura franco arcillo limosa y arenosa, mientras que para el perfil B tiene una textura franco arenosa. Para el horizonte A1 del perfil A tiene una textura dominante tipo franco arenosa y para el perfil B, la textura es de tipo arcillo limosa.
- f. Se determinó que las cárcavas afloran en la Unidad de Coluvión, con una orientación preferencial de *NE* hacia *SW* y en el último horizonte de suelo se presenta el nacimiento de agua con la misma dirección del corrimiento del material.
- g. La microcuenca donde se formaron las cárcavas tiene un índice de compacidad de $K_c = 1,32$ que indica una forma oval-alargada, además de un factor de forma $F = 0,982 < 1$, que indica una microcuenca alargada. La densidad de drenaje es de $3,850 > 1$, representa un valor alto e indica zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables; la frecuencia de drenaje es de $5,664$ que representa un valor bajo, e indica permeabilidad alta y baja erodabilidad. Así también, la densidad de drenaje es alta y la frecuencia de drenaje es baja a muy baja, por lo tanto, la textura de drenaje va de fina a gruesa, lo que indica que los materiales varían desde fino a grueso, mientras que la permeabilidad de los mismos estaría desde baja a alta y la erodabilidad sería alta a baja.
- h. Reforestar en la Unidad de Coluvión con especies tales como: Magnolia, Coj, Anonillo y Nogal de montaña, tal como lo clasifica en la base de datos del SIG-MAGA (2001). Esta reforestación generará una cubierta vegetal que minimizará la erosión de la



superficie y fortalecerá los sistemas de raíces, lo cual a su vez mejorará la estabilidad del talud.

- i. Realizar un sistema de siembra de pasto (tipo pajón) en las cárcavas para el control de surcos para mejorar el sistema de drenaje en la pendiente.





RECOMENDACIONES

- a. Evitar la construcción de viviendas y obras de infraestructuras, en la Unidad de Coluvión y a la orilla del río Chixoy, pues son áreas de mucha amenaza.
- b. Concientizar a las autoridades municipales de Cobán y COCODES para la realización de charlas en relación al ordenamiento territorial en función al problema con el uso del suelo.
- c. La Corporación municipal de Cobán, debe realizar simulacros de remociones en masa con los pobladores que se encuentran en zonas de riesgo, a manera de que si se llegara a dar un nuevo evento, los habitantes sepan cómo actuar y qué hacer ante tal situación.
- d. Solicitar a instituciones u organizaciones como CONRED, apoyo hacia la Corporación municipal, con el fin de que el INSIVUMEH establezca una estación meteorológica lo más completa posible en la región de Salacuin del municipio de Alta Verapaz, donde se registren datos meteorológicos, debido a que la zona es propensa a algún fenómeno natural.





ANEXOS

- I. MAPA GEOLÓGICO LOCAL
- II. MAPA DE CÁRCAVAS
- III. DATOS ESTRUCTURALES





Vercaical, Ricardo. Estudio de los procesos erosivos en una microcuenca. zona central de España pueblo de valles guadajara. 1989. [http://rui.ubt.es/impd/biblioteca/diasset_tesamono_03.pdf](http://rui.ubt.es/impd/biblioteca/diasset_tesamono_diasel_tesamono_03.pdf) (20 de agosto de 2015).

BIBLIOGRAFÍA

- Braja M, Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thomson, 2001.
- Delgado, Martín. *et. al. Prácticas de geología mapas geológicos y problemas*. 2010. http://caminos.udc.es/info/assignaturas/grado_itop/113/pdfs/Practicas%20de%20GEOLOGIA.pdf (15 de agosto de 2015).
- Gómez Gutiérrez, Álvaro. *et. al. Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la península ibérica*. 2009. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3606511> (18 de agosto 2015).
- Highland, Lynn M y Peter Bobrowsky. *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre derrumbe*. https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr.org/files/publication/Manual_de_derrumbes_WEB_DS%5B1%5D.pdf (10 de agosto de 2015).
- Iturburu Di Fiore, Marcelo. *Análisis del proceso de erosión en cárcavas en el noreste de Canelones entre 1966 –2010*. http://ambiente.fcien.edu.uy/tesis/TESES_ITURBURU_19.09.2011.pdf (25 de julio de 2015).
- León Peláez, Juan Diego. *Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas*. 1779. <http://www.bdigital.unal.edu.co/10407/1/9589352278.Parte1.pdf> (28 de julio de 2015).
- Martínez Menes, Mario. *Control de cárcavas*. 2009. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Control%20de%20carcavas.pdf> (12 de junio de 2015).
- Mcclay, Ken. *The mapping of geological structures*. London, England: Handbook series editor-Keith Cox, 1991.
- Milían García, Felino. *Actualización del léxico estratigráfico del bloque maya en Guatemala*. 2010. <https://es.scribd.com/doc/304938773/Estratigrafia-del-Bloque-Maya-pdf> (3 de septiembre de 2015).
- Pérez, J. *Topografía*. Bogotá Colombia: Editorial Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 1999.



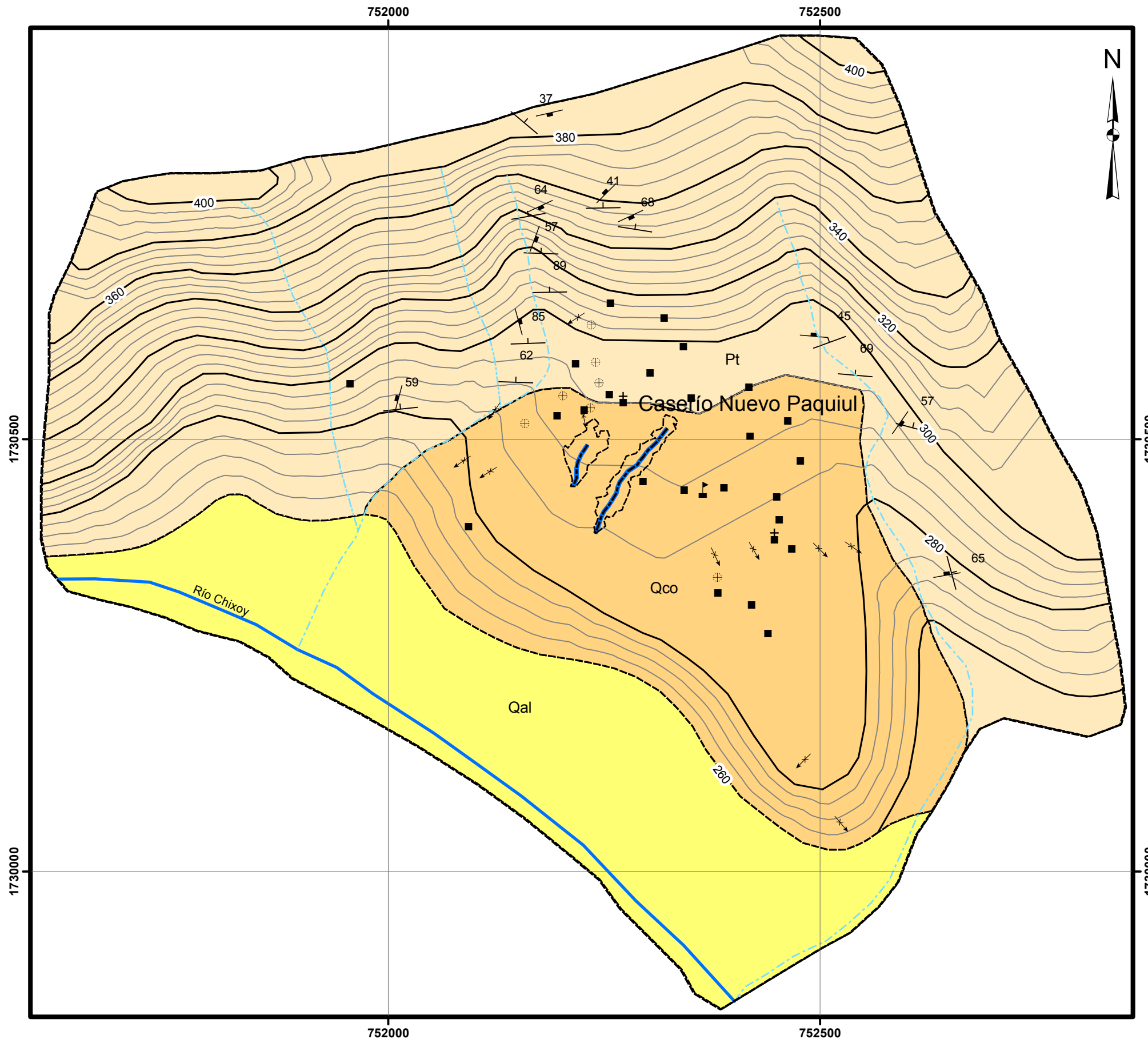
Varcalcel, Ricardo. *Estudio de los procesos erosivos en una microcuenca: zona central de españa puebla de valles guadalajara*. 1989. http://r1.ufrj.br/lmbh/pdf/mono_disset_tese/mono_disset_tese03.pdf (20 de agosto de 2015).



V.º B.º
[Handwritten signature]

Adán García Véliz
Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
BIBLIOTECARIO






LEYENDA

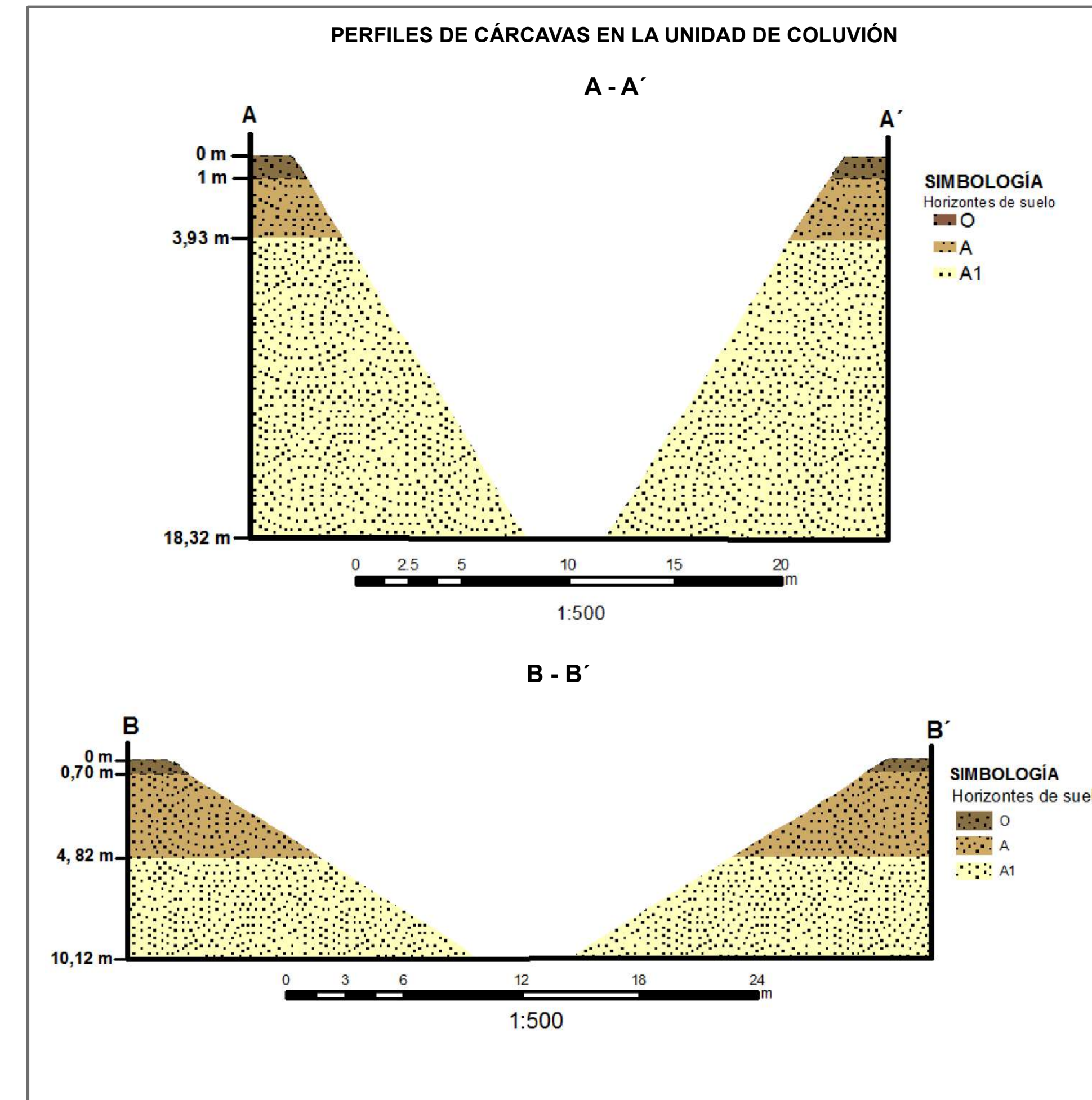
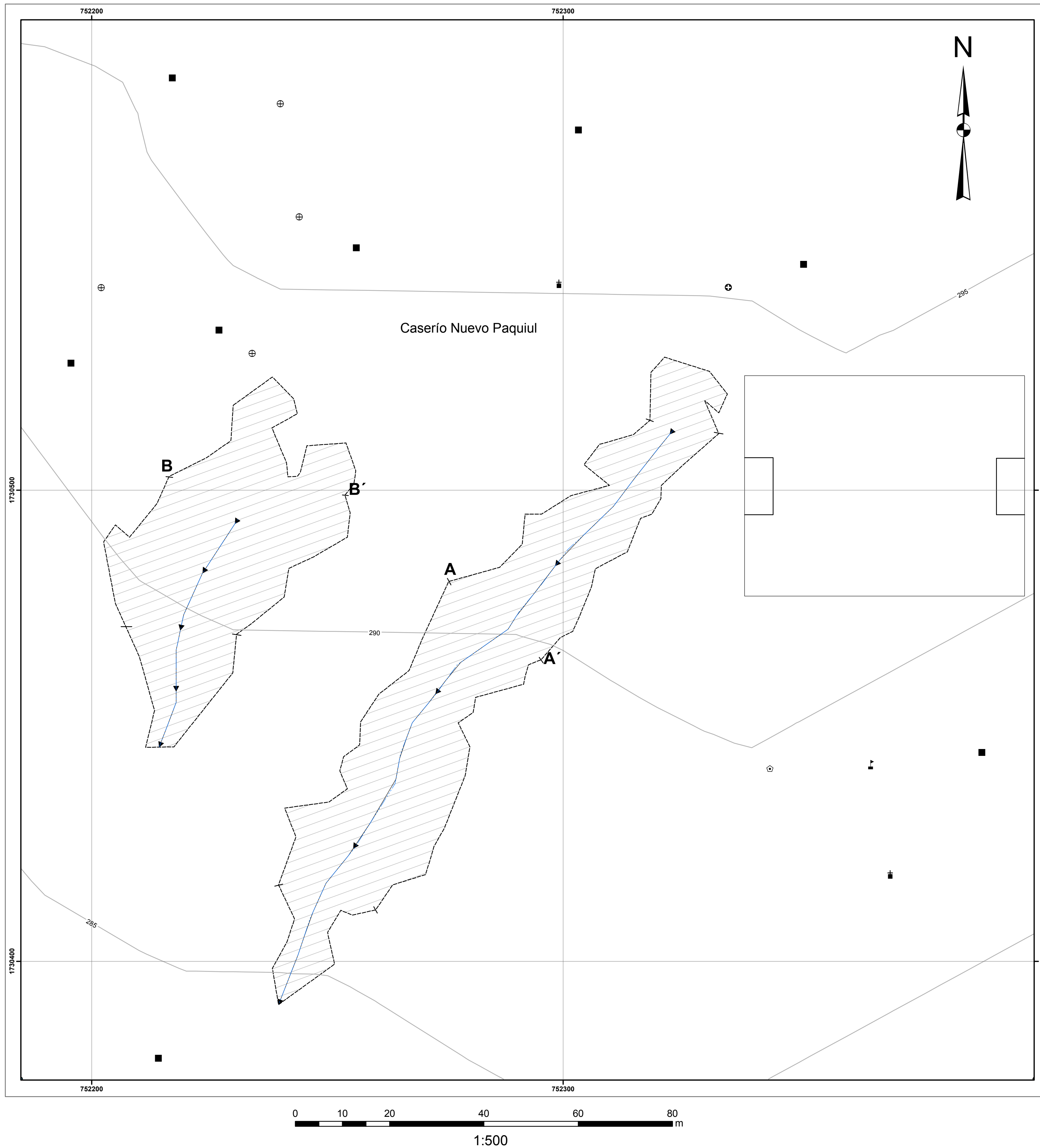
LITOLOGÍA

- Aluvión
- Coluvión
- Lutitas

SIMBOLOGÍA

- Estratificación
- Fractura
- Contacto discordante
- Cárcava
- Movimientos en masa
- Sumidero
- Nivel
- Población
- Escuela
- Iglesia
- Quebrada
- Nacimiento de agua
- Río Chixoy

	Universidad de San Carlos de Guatemala
	Centro Universitario del Norte
	Análisis de la ocurrencia de cárcavas, en el caserío, Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz
Mapa geológico local	
Realizado por: Edgar Ismael Xol Cuc	
Escala numérica: 1:500	Revisado por: Ing. Sergio Moran Ical
Referencia espacial: WGS_1984_UTM _Zone_15N	
Anexo I Formato A3	



- SIMBOLOGIA**
- ▶ Dirección de flujo
 - Nacimiento de agua
 - ⊕ Salón comunal
 - Campo de futbol
 - ✚ Iglesia
 - ⊗ Centro de convergencia
 - ⊕ Sumidero
 - Población
 - Nivel
 - ▭ Cárcava
 - ✚ Escuela

	Universidad de San Carlos de Guatemala	
	Centro Universitario del Norte	
Análisis de la ocurrencia de cárcavas, en el caserío, Nuevo Paquiul, Cobán, Alta Verapaz		
Mapa de cárcavas		
Realizado por:	Edgar Ismael Xol Cuc	
Escala numérica:	Revisado por:	Referencia espacial :
1: 5 000	Ing. Sergio Morán Icaj	WGS_1984_UTM _Zone_15N
		Anexo II Formato A2

ANEXO III

DATOS ESTRUCTURALES DE ESTRATIFICACIÓN Y FRACTURA LOCAL

Coordenada <i>UTM</i>		Orientación		Estructuras
Este (X)	Norte (Y)	<i>Dip</i>	<i>Dir</i>	
752655	1730346	65 ⁰	N 075 ⁰	Estratificación
752014	1730538	59 ⁰	N354 ⁰	Estratificación
752148	1730569	62 ⁰	N 002 ⁰	Estratificación
752162	1730614	85 ⁰	N 358 ⁰	Estratificación
752187	1730673	89 ⁰	N 359 ⁰	Estratificación
752177	1730718	57 ⁰	N 002 ⁰	Estratificación
752162	1730761	64 ⁰	N 350 ⁰	Estratificación
752154	1730879	37 ⁰	N 040 ⁰	Estratificación
752286	1730746	68 ⁰	N 009 ⁰	Estratificación
752510	1730615	45 ⁰	N 340 ⁰	Estratificación
752541	1730577	69 ⁰	N 005 ⁰	Estratificación
752608	1730516	57 ⁰	N 015 ⁰	Estratificación
752242	1730776	41 ⁰	N 359 ⁰	Estratificación
752655	1730346	65 ⁰	N 350 ⁰	Fractura
752014	1730538	80 ⁰	N 285 ⁰	Fractura
752162	1730614	78 ⁰	N 075 ⁰	Fractura
752177	1730718	84 ⁰	N 110 ⁰	Fractura
752162	1730761	85 ⁰	N 155 ⁰	Fractura
752286	1730746	64 ⁰	N 155 ⁰	Fractura
752510	1730615	84 ⁰	N 005 ⁰	Fractura
752608	1730516	71 ⁰	N 125 ⁰	Fractura
752245	1730776	64 ⁰	N 315 ⁰	Fractura
752154	1730879	90 ⁰	N 167 ⁰	Fractura

Fuente: Investigación de campo 2016.



DATOS DE DESLIZAMIENTOS

Coordenada <i>UTM</i>		Orientación	Estructuras
Este (X)	Este (X)		
752382	1730358	N 155 ⁰	Deslizamientos
752427	1730365	N 150 ⁰	Deslizamientos
752476	1730123	N 225 ⁰	Deslizamientos
752529	1730050	N 140 ⁰	Deslizamientos
752544	1730371	N 125 ⁰	Deslizamientos
752505	1730367	N 135 ⁰	Deslizamientos
752119	1730527	N 215 ⁰	Deslizamientos
752228	1730518	N 169 ⁰	Deslizamientos
752110	1730458	N 238 ⁰	Deslizamientos
752080	1730470	N 236 ⁰	Deslizamientos
752212	1730636	N 237 ⁰	Deslizamientos

Fuente: Investigación de campo 2016.



USAC CUNOR

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Norte



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 GEOLOGO

Al trabajo titulado:

ANÁLISIS DE LA OCURRENCIA DE CARCAVAS, EN EL CASERIO NUEVO PAQUIUL, COBÁN, ALTA VERAPAZ

Presentado por el (la) estudiante:

EDGAR ISMAEL XOL CUC

Autoriza el

IMPRIMASE

Cobán, Alta Verapaz 26 de Septiembre de 2017.

Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
DIRECTOR

