

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



PASANTÍA DE PRACTICA PROFESIONAL:
**OBRAS DE MITIGACIÓN DE CÁRCAVAS Y
CONTROL DE EROSIÓN EN EL MUNICIPIO DE
AYUTUXTEPEQUE**

PRESENTADA POR:
SALOMÓN ENRIQUE GÓMEZ JERÓNIMO

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Tesina de Pasantía de Práctica Profesional previa a la opción al
Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**OBRAS DE MITIGACIÓN DE CÁRCAVAS Y
CONTROL DE EROSIÓN EN EL MUNICIPIO DE
AYUTUXTEPEQUE**

Presentado por :

SALOMÓN ENRIQUE GÓMEZ JERÓNIMO

Tesina de Pasantía de Práctica Profesional Aprobada por:

Docentes Asesores :

ING. JOSÉ RANULFO CÁRCAMO Y CÁRCAMO

ING. ALEYDA MARGARITA MONTOYA DE FIGUEROA
(Asesora Externa)

San Salvador, enero 2022

Tesina de Pasantía de Práctica Profesional Aprobada por:

Docentes Asesores :

Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo

Ing. Aleyda Margarita Montoya de Figueroa
(Asesora Externa)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	VIII
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Alcances.....	5
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Justificaciones.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Geología de El Salvador.....	8
2.2 Estratigrafía del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).....	9
2.3 Tierra Blanca Joven (TBJ).....	13
2.3.1. Distribución y características de la TBJ.....	16
2.3.2. Descripción de las unidades de la TBJ.....	17
2.3.3. Características de la unidad “G”.....	22
2.4 Comportamiento y problemática que afecta la TBJ.....	26
2.4.1. Factores que afectan la TBJ.....	26
2.4.2. Mecanismo de ruptura.....	29
2.5 Obras de protección.....	31
2.5.1. Obras de protección estructurales.....	33
2.5.2. Obras de protección no estructurales.....	42
2.6 Suelos colapsables.....	46
2.7 Generalidades del Municipio de Ayutuxtepeque.....	46
CAPÍTULO III: OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN EN COMUNIDAD CRISTO REDENTOR, COLONIA DIVINA PROVIDENCIA Y MITIGACIÓN DE CÁRCAVAS EN COLONIA BELGALATEA.....	54
3.1 Comunidad Cristo Redentor.....	54
3.1.1 Antecedentes.....	54
3.1.2 Planteamiento de la problemática.....	57
3.1.3 Ubicación.....	59

3.1.4	Clasificación de riesgo.....	61
3.1.5	Descripción de la propuesta conceptual.	63
3.1.6	Esquemas de la propuesta conceptual.....	65
3.2	Colonia Divina Providencia.	67
3.2.1	Antecedentes.....	67
3.2.2	Planteamiento de la problemática	69
3.2.3	Ubicación.	71
3.2.4	Clasificación de riesgo.....	72
3.2.5	Descripción de la propuesta conceptual.	73
3.2.6	Esquemas de la propuesta conceptual.....	75
3.3	Colonia Belgalatea.	77
3.3.1	Antecedentes.....	77
3.3.2	Planteamiento de la problemática	81
3.3.3	Ubicación.	83
3.3.4	Clasificación de riesgo.....	85
3.3.5	Descripción de la propuesta conceptual.	87
3.3.6	Esquemas de la propuesta conceptual.....	88
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES A LAS PROBLEMÁTICAS EN COMUNIDAD TANQUE SECO, COLONIA ALTOS DE SCANDIA, COLONIA YANET Y COLONIA SANTÍSIMA TRINIDAD.		91
4.1	Comunidad Tanque Seco	91
4.1.1	Ubicación	91
4.1.2	Observaciones.....	92
4.1.3	Diagnóstico	97
4.1.4	Recomendaciones.....	97
4.1.5.	Clasificación de riesgo.....	99
4.2	Colonia Altos de Scandia.....	100
4.2.1	Ubicación	100
4.2.2	Observaciones.....	101
4.2.3	Diagnóstico	104
4.2.4	Recomendaciones.....	104
4.2.5.	Clasificación de riesgo.....	105

4.3	Colonia Yanet	106
4.3.1	Ubicación	106
4.3.2	Observaciones.....	107
4.3.3	Diagnóstico	110
4.3.4	Recomendaciones.....	111
4.3.5.	Clasificación de riesgo.....	113
4.4	Colonia Santísima Trinidad	114
4.4.1	Ubicación	114
4.4.2	Observaciones.....	115
4.4.3	Recomendaciones.....	119
4.4.4.	Clasificación de riesgo.....	120
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		122
5.1.	Conclusiones	122
5.2.	Recomendaciones.....	123
Bibliografía.....		124
Anexos		125

INTRODUCCIÓN

Los flujos piroclásticos producto de la erupción de la caldera de Ilopango cubren una gran extensión del territorio salvadoreño, siendo esto un factor que influye en gran manera en el tipo de suelo que se puede encontrar superficialmente, la Tierra Blanca Joven (TBJ) es uno de los suelos más comunes encontrados en el municipio de San Salvador, debido a que este tipo de suelo es susceptible a la erosión hídrica, se han desarrollado problemas de derrumbes de taludes, cárcavas, socavación de los cimientos de viviendas, afectando negativamente a las personas que habitan en los alrededores de dicha zona poniendo en riesgo su seguridad.

El crecimiento de la población a contribuido en la expansión de las zonas urbanizadas disminuyendo el área de infiltración de las aguas lluvias y aumentando la escorrentía, ésto facilita las condiciones para acelerar la erosión de laderas o taludes generando problemáticas a la población.

En el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) específicamente en el municipio de Ayutuxtepeque se identificaron siete problemas de cárcavas y de erosión de laderas que afectan a los habitantes de dicha zona, cada problema ha sido inspeccionado y se ha planteado un diseño conceptual de una posible solución.

El presente trabajo está constituido de cinco capítulos en los cuales contiene el desarrollo de toda la investigación, inspección y planteamiento soluciones conceptuales, el capítulo I es generalidades que incluyen los antecedentes del trabajo, planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, alcances globales y justificación.

El capítulo II correspondiente al marco teórico contiene la investigación desarrollada sobre los suelos en el AMSS tratando ampliamente sobre los estratos más superficiales y sobre la TBJ.

El capítulo III está conformado por el desarrollo de tres problemáticas en el municipio de Ayutuxtepeque ubicadas en Comunidad Cristo Redentor, Colonia Divina Providencia y Colonia Belgalatea, siendo en estas tres problemáticas donde se realizó un diseño conceptual.

El capítulo IV está conformado por el desarrollo de cuatro problemáticas en el municipio de Ayutuxtepeque ubicadas en Comunidad Tanque Seco, Colonia Altos de Scandia, Colonia Yanet y Colonia Santísima Trinidad, para estas cuatro problemáticas no se realizó diseño conceptual, sino sólo recomendaciones para tratar el problema.

También se presenta un capítulo V donde se plasman las conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo y recomendaciones, Además se incluye la bibliografía utilizada y como anexos el formato correspondiente a la tabla de factores para clasificación de riesgo

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Ayutuxtepeque es municipio del departamento de San Salvador, está limitado al Norte y al Oeste por Apopa; al Este por Cuscatancingo y Ciudad Delgado; Al Sur por Mejicanos. Ha experimentado a partir de los años 90's un crecimiento acelerado en su población, lo que conlleva a urbanizar cada vez más el municipio.

La elevación más notable dentro del municipio es el cerro El Carmen, situado al norte de la ciudad de Ayutuxtepeque. Su elevación es de 796.74 metros sobre el nivel del mar. A pesar de ser Ayutuxtepeque un municipio con poca área respecto a los otros municipios del AMSS, posee una topografía variada, diferenciando cuatro zonas, a) El Centro Urbano, que es el área más pequeña y plana, con pendientes suaves, b) El cerro El Carmen con pendientes de moderadas a fuertes, c) El sector de los Llanitos, al norte con una topografía plana en general con pendientes suaves; pero irrigada por varias quebradas y d) El cantón El Zapote, ubicado al poniente, en las faldas del volcán de San Salvador, y con una topografía escarpada con pendientes de moderada a fuertes. Al municipio lo irrigan los ríos: Santa María y Arenal; y entre las quebradas se pueden mencionar El Zapote, Barranca Honda, Cháncala y Chicahuasta. Todo el municipio forma parte

de la cuenca del Acelhuate, que es tributaria al Rio Lempa, además el municipio presenta una variación en su geología encontrando desde C1 y C3 de la formación Cuscatlán, hasta s4 (piroclastitas acidas) y s3'a (efusivas acidas) de la formación San Salvador.

En cuanto al promedio anual de lluvias, se tiene una oscilación registrada entre los 1700 a 1800 mm y el periodo de lluvias es entre los meses de mayo a octubre.

1.2. Planteamiento del problema

El rápido crecimiento de la población en el municipio y el crecimiento del grado de urbanización del mismo, ha incrementado el área impermeabilizada por las construcciones y disminuido el área de infiltración del agua, aumentando así la escorrentía superficial, propiciando la erosión en las áreas expuestas y taludes conformados por suelos fácilmente erosionables que, al entrar en contacto con el agua, tienden a ceder y poner en riesgo la integridad y seguridad de las estructuras cercanas y hasta la vida de los habitantes afectados.

Tomando en cuenta también la influencia que tiene los caudales de los ríos y quebradas durante la estación lluviosa, socavando el pie de taludes, afectando en la estabilidad y favoreciendo al colapso del mismo, perdiendo así áreas útiles de los terrenos.

Además de los problemas que generan algunas obras inconclusas o algunos diseños inadecuados de drenaje de aguas lluvias que permiten que al agua sea vertida directamente sobre el terreno o sobre el cuerpo del talud erosionando y generando la cárcava, según la geología del municipio hay presencia de Tierra Blanca Joven que es un suelo susceptibles a la erosión, lo que favorece a que se generen este tipo de problemas que a medida pasa el tiempo van aumentando sus dimensiones y haciéndose cada vez más difícil de controlar o mitigar.

Todos estos factores contribuyen al desarrollo de problemas de cárcavas que afectan la seguridad de los habitantes de los alrededores y propician la pérdida parcial o total de sus bienes inmuebles.

1.3. Objetivos

OBJETIVO GENERAL:

- Presentar un diseño conceptual que contribuya a la reducción del riesgo generado por cárcavas o al control de erosión para cada uno de los casos de las problemáticas identificadas en el municipio de Ayutuxtepeque.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar cárcavas que se generan en el municipio de Ayutuxtepeque, a través de las visitas técnicas que se realicen.
- Verificar las características de las cárcavas que se han identificado, sus dimensiones y geometría.
- Diagnosticar las causas posibles que dieron lugar a la formación de los problemas identificados en el municipio.
- Clasificar cada problemática según su grado de riesgo tomando en cuenta las características y condiciones en la que se encuentra.
- Diseñar una solución conceptual para cada problemática, tomando en cuenta las condiciones que presenta cada caso identificado.

1.4. Alcances

- En las inspecciones y análisis presentados no se realizarán estudios de suelos, sólo se mencionará lo correspondiente a la geología de forma general basado en los mapas geológicos de El Salvador, en cuanto a las propiedades mecánicas del suelo se utilizarán los datos promedios de tablas de libros de texto.
- La clasificación de riesgo para las cárcavas se hará bajo los criterios propuestos en el “Manual de Consideraciones Geotécnicas y Sísmicas” elaborado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica de Riesgo (DACGER) y la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
- Los diagnósticos estarán basados en los datos recopilados en las correspondientes inspecciones.
- Se presentará una propuesta que mejor se adapte a la necesidad para mitigar el problema presentado y un diseño meramente conceptual.

1.5. Limitaciones

- Este trabajo se limitará al estudio de problemas puntuales identificados en el municipio de Ayutuxtepeque.
- Las inspecciones se centran en apreciaciones superficiales, no se hará uso de equipo especializado para toma de datos, ni se hará ningún tipo de ensayo de laboratorio de suelos.
- La disponibilidad de transporte por parte del MOPT y de personal que acompañe a las inspecciones es limitado, debido a que hay otras necesidades a las que se debe de atender, como inspeccionar problemáticas en otros lugares, monitoreo de proyectos, desarrollo de documentos técnicos, etc.

1.6. Justificaciones

Ayutuxtepeque presenta una topografía muy variada, así como también su geología, propiciando en algunas zonas la erosión o generación de cárcavas que afectan negativamente en los terrenos y estructuras circundantes, pudiéndose dar en algunos casos pérdidas parciales o totales de los bienes inmuebles de los habitantes afectados.

Con la finalidad de identificar a través de inspecciones técnicas los problemas que se generan en algunas zonas debido a distintas condiciones que se presentan favoreciendo así al desarrollo de los mismos, con la información recabada poder plantear un diagnóstico donde se detallen las causas que generaron dicha problemática.

Además, presentar una propuesta de posible solución y un diseño conceptual que ayude a mitigar el riesgo de la problemática identificada, generando de esta manera un insumo de utilidad para el Ministerio de Obras Públicas y de Transporte donde se muestren las posibles soluciones con las que se pueden tratar dichos problemas para poder mejorar las condiciones del lugar.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. Geología de El Salvador

Como lo describe Hernández en su proyecto final Características Geotécnicas y Vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, de Ilopango, El Salvador (2004: p.21) y según se muestra en la figura 2.1, la mayoría del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) se encuentra dentro de la unidad geológica llamada: Rocas volcánicas plio-pleistocénicas, las cuales comprenden los edificios volcánicos más jóvenes que se han establecido en el interior de la estructura del Graben Central los cuales se disponen paralelamente al eje del graben y evolucionaron inmediatamente después de la configuración del mismo, estando la caldera de Ilopango inmersa dentro de esta unidad.



Figura 2.1. Mapa Geológico Simplificado [Hernández, 2004: p.22].

2.2. Estratigrafía del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) cubre 590 km² e incluye oficialmente a 14 municipios: San Salvador, Nejapa, Tonacatepeque, Apopa, Delgado, Mejicanos, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque, San Martín, Ilopango, Soyapango, San Marcos, Antiguo Cuscatlán y Santa Tecla.

En el AMSS superficialmente predomina la intercalación entre los productos del volcán de San Salvador y los de la caldera de Ilopango, adelgazándose sus espesores a medida se alejan del centro emisor, estando controlada su ubicación dependiendo de la dirección de los vientos y fuerza explosiva

durante la erupción que los produjo, generalmente en los afloramientos no hay presencia de todos los estratos debido a ésto y también porque unas capas fueron erosionadas.

La estratigrafía del AMSS está compuesta principalmente por la Formación San Salvador, los estratos más importantes son: TB4, G1, TB3, TB2, G2, IB, PL y TBJ siendo los depósitos de las Formaciones Cuscatlán y Bálsamo su basamento (ver figura 2.2). Hernández (2008: p5) describe la estratigrafía y características en el AMSS, ésta se presenta de la base hacia el techo:

Pómez TB4: Es el depósito más antiguo del último ciclo de la caldera de Ilopango, el cual yace sobre las Tefras Apopa (producto del volcán de San Salvador). El TB4 está constituido por una capa de pómez color blanco, producto de una erupción pliniana de importante magnitud. Se caracteriza por tener una capa de lapilli y pómez con gradación normal, su paleosuelo es el que tiene mayor espesor. La base de esta unidad la constituye una ceniza de caída fina, blanca, de espesor delgado (25 - 10 cm), y el techo por ceniza fina de casi el metro de espesor de color amarillento.

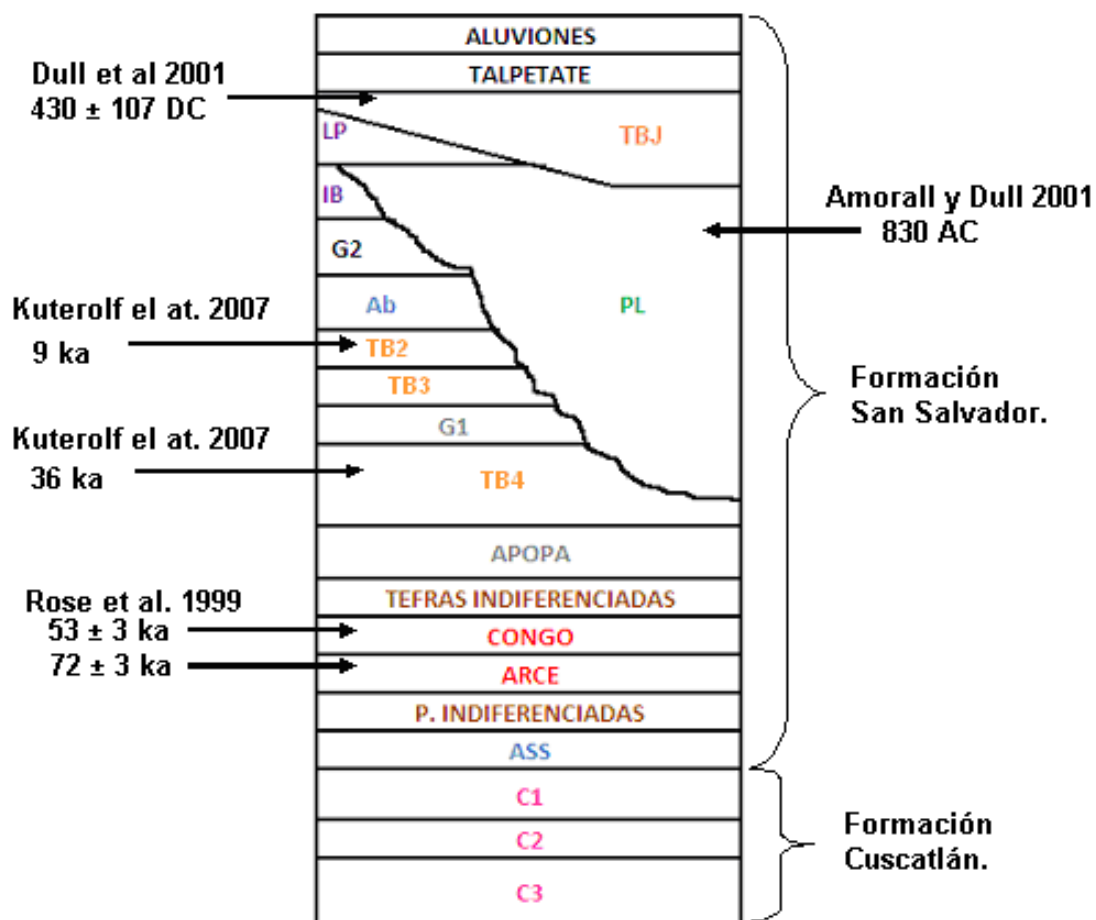


Figura 2.2. Estratigrafía en el AMSS [Hernández, 2008].

G1: Son provenientes de la erupción del volcán de San Salvador y están compuestos por pómez de caída vesiculado, de composición dacítico a andesítico, grisáceo, algo suelto, con moderada presencia de líticos oxidados y angulares.

Pómez TB3: Productos procedentes de la caldera de Ilopango, son pómez y cenizas de caída de granulometría fina, blancas, con presencia de lapilli acrecional y flujos piroclásticos basales lo que señalan fenómenos eruptivos

freatomagmáticos originados por la interacción entre el magma y las aguas de un antiguo lago. El techo de esta capa presenta un paleosuelo delgado poco desarrollado de color café amarillento.

Pómez TB2: Este depósito tiene espesor de 1 m dentro de un radio de 10 km del centro de emisión de la caldera de Ilopango, está compuesto por una caída de pómez ligeramente mayor que TB3 y caracterizado por ser mal seleccionado con abundantes minerales oscuros representados por hornblenda. El techo presenta un paleosuelo de delgado espesor, de color café oscuro.

G2: Esta unidad corresponde a una erupción pliniana posterior del volcán de San Salvador y es bastante menor en volumen que G1. Está compuesta por escorias poco vesiculadas, por consiguiente más densa, gris claro a gris pardo, mostrando mezcla de magmas, siendo rico en líticos basálticos rojizos densos y andesitas café amarillentas y líticos. Cuando presentan alteración muestran aspecto moteado evidenciado por un tono gris y beige, recordando la pómez del G1.

Ignimbrita Boquerón (IB): También producto del volcán de San Salvador y tiene poca consolidación, posee matriz de cenizas finas medianamente meteorizadas, en la que se encuentran fragmentos de escoria gris con meteorización baja, fragmentos de escoria juveniles de tamaños variados y líticos andesíticos con oxidación, además, muestra pequeños bolsones de

escoria bastante vesicular, estando compuesta por dos flujos piroclásticos de color café oscuro mostrando cada una intercalación de delgadas oleadas piroclásticas (surges) de color café claro a pardo.

Plan de la Laguna (PL): Producto de la erupción freatomagmática del Maar Plan de la Laguna, se caracteriza por tener en la base lapilli andesítico, vesicular gris, superpuesto por oleadas. La parte intermedia laminada está compuesta por cenizas de caída y oleadas. Un maar es un cráter volcánico ancho y bajo, producido por una erupción freáticomagmática, es decir, una explosión causada por agua subterránea que entra en contacto con lava caliente o magma.

Tierra Blanca Joven (TBJ): Este estrato está compuesto por diferentes depósitos piroclásticos de caída y flujos de la última erupción explosiva de la caldera de Ilopango, está compuesto por seis unidades, A, C, D, E, F, y G de la más profunda a la más superficial; la cual tuvo una amplia distribución en todo el territorio Salvadoreño.

2.3. Tierra Blanca Joven (TBJ)

Hart y McIntyre definen la Tierra Blanca Joven como el manto blanco espeso de ceniza proveniente de la última erupción pliniana y se caracteriza por una coloración clara y por ser la más reciente de las depositaciones de las erupciones de la caldera de Ilopango.

Según lo relata Hernández (2004: p.4) las investigaciones de la Tierra Blanca son relativamente jóvenes, su nombre actual existe desde 1953 cuando Williams y Meyer Abich la bautizaron con este nombre por su característico color blanco, creyendo que estos depósitos procedían del Volcán Boquerón. Posteriormente fue la Misión Geológica Alemana, para la elaboración del Mapa Geológico de El Salvador a escala 1:100,000 (Weber, S.H., et al.1978), quienes definieron a la caldera de Ilopango como la generadora de los depósitos de Tierra Blanca haciendo una descripción geológica en dos unidades, s4 (piroclastitas acidas) y s3'a (efusivas acidas), como miembros de la formación San Salvador. La primera unidad s4 se refiere a la última erupción pliniana de Ilopango y en la segunda unidad s3'a se agrupan los depósitos de piroclásticos TB2, TB3 Y TB4, los cuales por la coloración que producen los paleosuelos entre estas unidades son llamados también "Tobas color café". Hart (1981) identificó en la última erupción pliniana de la caldera de Ilopango, dos etapas eruptivas importantes denominadas T1 y T2 cuyos productos los subdividió en seis unidades, e identificó los procesos eruptivos asociados, además, hizo análisis químicos de las tefras. Posteriormente Hart y Steen-McIntyre (1983) describieron la estratigrafía y la distribución de las tefras como se muestra en la figura 2.3. Vallance y Houghton (1998) revisaron la estratigrafía de Hart y Steen-

McIntyre (1983) e introdujeron cambios en las unidades estratigráficas, denominándolas de la A a la F, caracterizaron cada unidad y redefinieron los procesos eruptivos asociados a las mismas.

Hernández (2004) identificó tres nuevas unidades estratigráficas de la TBJ con el objetivo de estudiar las propiedades físicas y mecánicas de los depósitos piroclásticos de la erupción explosiva de la caldera de Ilopango.

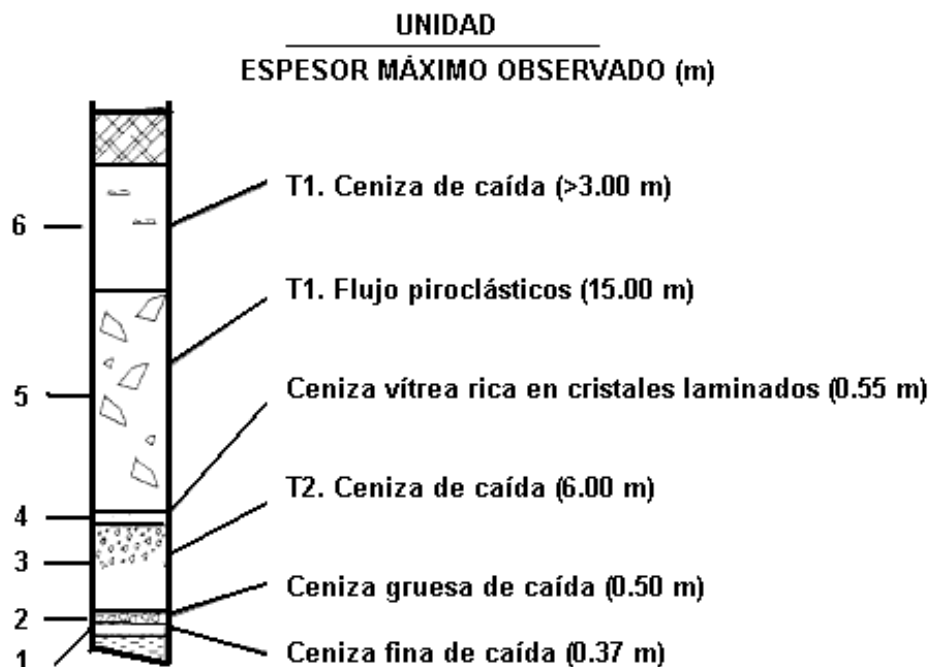


Figura 2.3. Estratigrafía de las unidades de la TBJ, adaptado de Hart y Steen-McIntyre (Amaya et al. 2000: p.24).

2.3.1. Distribución y características de la TBJ

Hart y McIntyre (1983) definen que los productos eruptivos de la caldera de Ilopango específicamente de la TBJ es la de mayor extensión del territorio Salvadoreño como se ve en la figura 2.4. Los flujos piroclásticos de este evento cubren extensas áreas de los departamentos de San Salvador, La Paz, Cuscatlán y San Vicente. Al sur esos depósitos rellenaron las depresiones en San Pedro Masahuat y San Antonio Masahuat. También hay caída en parte de Centroamérica y del sur de México. El volumen estimado por Hart y McIntyre (1983) para los depósitos de TBJ como magma diferenciado es de 20-50 km³, pero estudios más recientes de Kutterolf et al., (2007) en la plataforma marina del pacífico, en América Central, calcularon un volumen aproximado de magma de 70 km³ equivalente de roca densa (DRE). Hernández (2004) concluye que el estrato de TBJ solo se encuentra en un radio de 40 km del borde calderico y que este ha ido disminuyendo con el tiempo debido a procesos de erosión.

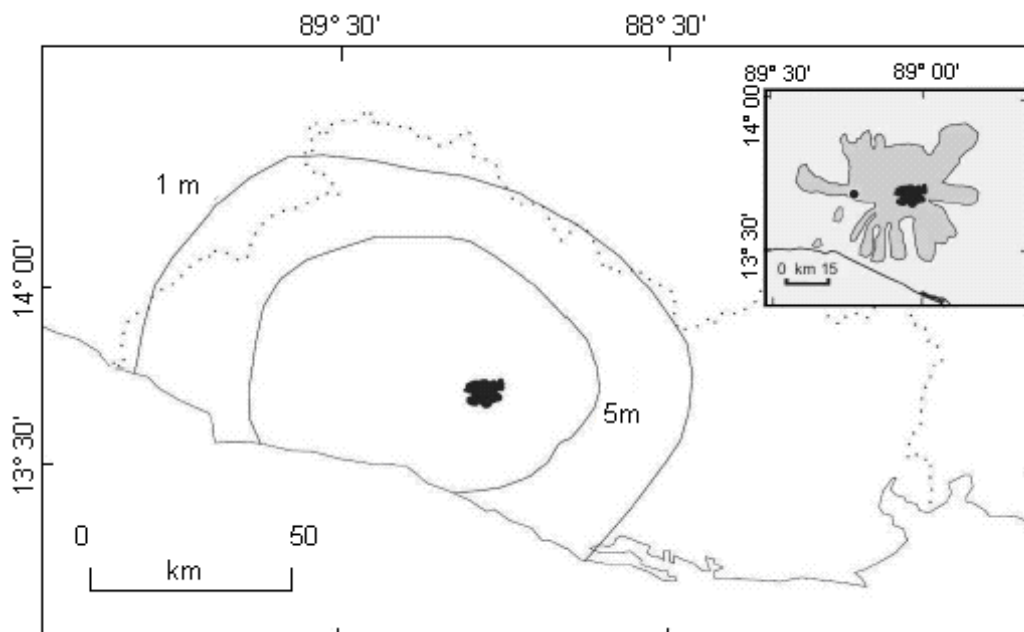


Figura 2.4. Extensión y espesor de TBJ en El Salvador. En recuadro, extensión aproximada de los flujos piroclásticos modificado de: Hart y Steen McIntyre (1983).

2.3.2. Descripción de las unidades de la TBJ

La ignimbrita es una roca piroclástica, es decir, que se forma por deposición y consolidación de materiales magmáticos producidos por erupciones volcánicas explosivas (plinianas). Su nombre deriva de dos voces latinas; ignis, "fuego", e imber, "lluvia", que indican la naturaleza y las características de los fragmentos volcánicos e incandescentes.

Los depósitos acumulados de la última erupción Pliniana de la caldera de Ilopango están clasificados en nueve unidades estratigráficas de la "A"

hasta la “G” incluyendo las ignimbritas alfa e ignimbritas beta. Hernández (2004: p.35) describe las unidades de la TBJ desde la más profunda hasta la más superficial de la siguiente manera:

Unidad A: Es un depósito fino, granular y localmente disperso de color café. Está compuesto por abundante pómez y abundante líticos, ambos con tamaño arena hasta grava. El espesor es muy delgado y a veces está ausente por erosión a partir del flujo piroclásticos de la unidad “C” y normalmente se encuentra cementado por óxido de hierro. El espesor de este unidad en el borde calderico alcanza 0.37 m de espesor (Hart y Steen – McIntyre, 1983).

Unidad B: Es un depósito de caída de pómez pliniano frecuentemente contenido dos partes discretas: Cenizas gruesas basales y lapilli de caída en el techo. Las isopacas circulares para espesores inferiores a 1cm, significan que fue eruptado bajo condiciones de velocidad de viento escaso (Vallance y Houghton, 1998). Este depósito de espesor centimétrico suele presentar un color amarillento por causa de la pigmentación y cimentación de óxido de hierro por contacto con el paleosuelo subyacente, a veces esta unidad está ausente debido a la erosión producida por la ignimbrita (Unidad C) y cuando está presente sirve de guía importante para identificar la base de la TBJ.

Unidad C: Es un depósito compuesto por dos flujos piroclásticos; el basal

de color gris (ignimbrita gris), rico en líticos andesíticos, masivo, de poco desplazamiento. Este último de amplio desplazamiento es el más importante, de color amarillento (ignimbrita amarilla), rico en líticos hidrotermalizados y es el que se encuentra más frecuente en la secuencia. Presenta una ligera estratificación evidenciada por los fragmentos de pómez. En las depresiones muestran las mayores acumulaciones, alcanzando espesores en estos sitios de hasta 9m. En algunas áreas poseen granulometría más gruesa pero está parcialmente cementada por sulfatos y silicatos de cloruro de sodio, por eso, está relativamente más consolidada.

Unidad D: Es un depósito que se caracteriza por ser rico en cenizas de grano fino. Presenta marcas de ondas gigantes de oleadas piroclásticas densas, estas estructuras y los depósitos de caída finos de la coignimbrita, le dan un aspecto estratificado. Este depósito en las facies intermedia y distal es bastante inconsolidado con ligeras variaciones entre un horizonte y otro, sin embargo, hacia el borde caldérico esta unidad está bastante cementada por minerales sulfatados y silicatados. En algunos afloramientos muestra un depósito de flujo piroclásticos con cierta estratificación planar. El techo está compuesto por ceniza con abundante lapilli acrecional.

Unidad ignimbrita Alfa (α): En el sector entre Ilopango y Soyapango aflora una ignimbrita masiva, con techo de color rosado tenue y beige en todo el

depósito, posee matriz rica en cenizas finas, pómez centimétricos y pocos líticos, cementada en la base por sulfatos y silicatos, el resto de la unidad esta inconsolidada. Presenta frecuentemente estructuras de tubos de desgasificación. En la secuencia de la TBJ se localiza entre el techo de la Unidad D y la base de la E. posee un espesor máximo de 15m y un desplazamiento aproximado de 6 km al noroeste a partir del borde caldérico.

Unidad E: Está constituida por productos freatomagmáticos caracterizados por depósitos de caída finamente bandeados: Depósitos secos y húmedos alternados. Los depósitos secos son color claro, están compuestos por cenizas gruesas con lapilli, fino pumítico y líticos andesíticos (gravas y arenas), inconsolidados, bastante deleznable. Los depósitos húmedos están constituidos por ceniza muy fina, bien seleccionadas, color café claro y café oscuro cuando están húmedos, se caracterizan por estar bastante consolidados y son ricos en fragmentos vítricos y en cristales (Hart y McIntire, 1983). Los depósitos húmedos muestran localmente deformaciones propias de sedimentos suaves indicando una deposición muy húmeda. Estos depósitos están medianamente distribuidos pero a veces están ausentes debida a la erosión producida por la ignimbrita sobreyacente (unidad F).

Subunidad Beta (Ignimbrita β): Está constituida por una ignimbrita de

color café – café claro, muy compacto, con abundante matriz fina con pómez y lítico en moderada presencia. Se localiza en el techo de la unidad E y subyace a la unidad F. Esta ignimbrita frecuentemente no está presente debido a la erosión producida por la ignimbrita F y cuando sí lo está, los espesores son muy pequeños. El máximo espesor medido es de 4.6 m (Urb. Vista al Lago) y en el río El Playón es de 2.18m.

Unidad F: Está compuesta por varios flujos piroclásticos masivos, no soldados, de color claro a beige claro, de espesores de unos 20 m hacia al sur. Presenta matriz de cenizas gruesas con abundantes fragmentos de pómez y líticos. Hacia el norte en el cantón La Cabaña y en los cortes de la carretera del Paquete III (periférico), se observan 5 de estas ignimbrita que suman un espesor de 8m. Con frecuencia muestran evidencias de erosión y estructuras de carga que producen en la unidad subyacente. Esta unidad es la de mayor volumen y entre los flujos fue el que mayor desplazamiento alcanzó 37 km. Otro aspecto que llama la atención es que en el municipio de Nuevo Cuscatlán se observan taludes compuestos por la unidad “F” de 5.5 m de altura, en los cuales se puede ver troncos de árboles carbonizados que fueron arrastrados por los flujos piroclásticos.

En la figura 2.5 se presenta un resumen de la estratigrafía y características de los suelos que componen la TBJ.

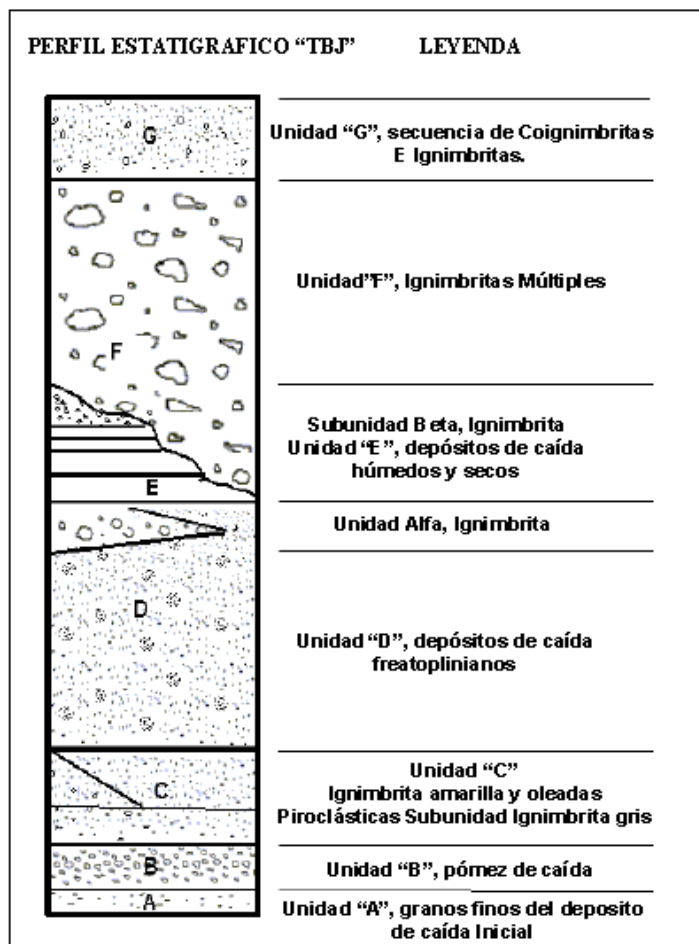


Figura 2.5. Perfil estratigráfico de los depósitos de Tierra Blanca Joven (Hernández, 2004: p.41).

2.3.3. Características de la unidad "G"

La unidad "G" es la capa superior de la TBJ, está formada por secuencias de depósitos de piroclásticos de caída (coignimbritas), flujos piroclásticos de textura fina (ignimbritas) y oleadas piroclásticas "surges".

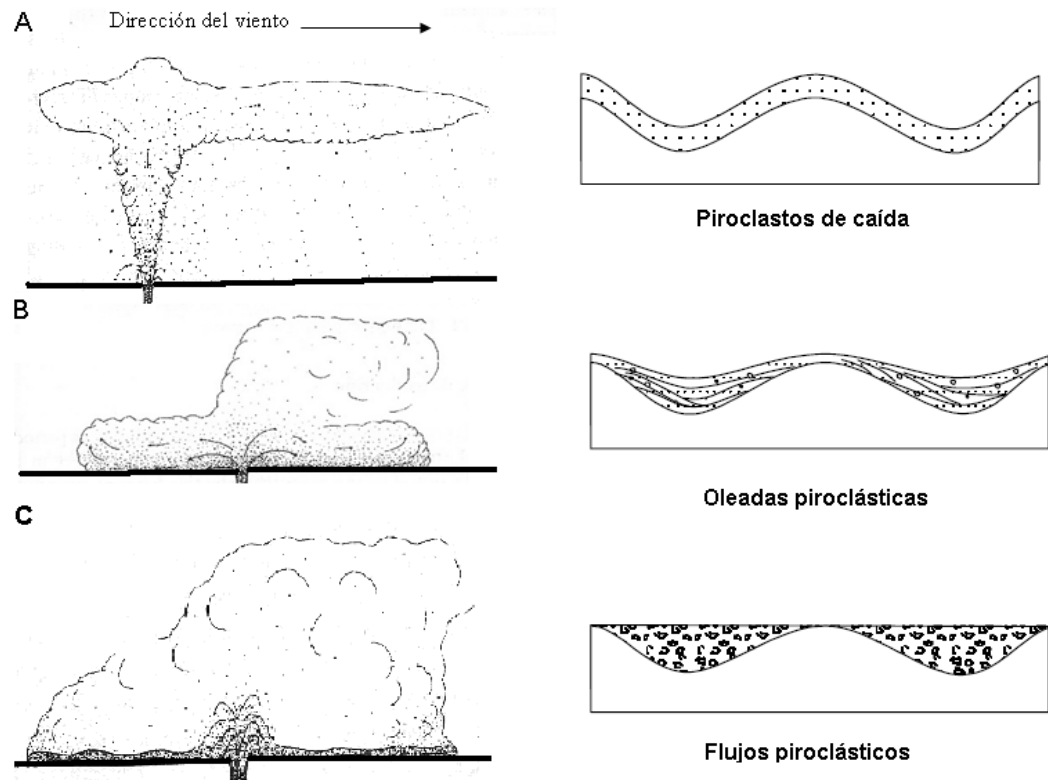


Figura 2.6. Esquema de los 3 sistemas de transporte y las características de sus depósitos (Sigurdsson et al, 2000: p.547 y 550).

Las coignimbritas son materiales inconsolidados de consistencia suave, producto de la caída por gravedad del material fino de la nube acompañante que se forma por la elutriación de finos a partir del flujo piroclástico, ésta presentan gran cantidad de lapilli acrecional de tamaño máximo de 30 mm. El espesor y tamaño de piroclastos decrece conforme aumenta la distancia con respecto al borde caldérico de Ilopango. Este tipo de depósito tiene una textura franca (gran porcentaje de limo) y consistencia suave parecidos al

talco.

El lapilli acrecional consiste en peloides que se forman por la acreción de ceniza fina alrededor de gotas de agua de condensación o de partículas sólidas, a menudo en el interior de columnas eruptivas ricas en vapor.



Figura 2.7. Fotografía: Lapilli Acrecional (Berta Molina et al, 2009: P. 40).

Las ignimbritas de la unidad “G” presentan textura fina y una estructura con grado de consolidación mayor que las coignimbritas, propiedad atribuida a las altas temperatura y al efecto de enfriamiento en que se han depositado los flujos. Se caracterizan por un nivel textura heterogénea, matriz de suelo fino (cenizas), fragmentos de líticos angulares de 1 cm y abundante pómez vesicular de tamaño máximo de 15 cm. El tamaño del pómez aumentan hacia el techo del estrato debido al efecto de flotación del mismo en la matriz más densa y los líticos tienden transportarse menos y a concentrarse en la base. Otra característica que presentan es que el grado de consolidación,

tamaño de los líticos y pómez disminuye a medida se alejan del centro de emisión de los flujos.

Los depósitos de oleadas piroclásticas (surges) son un estrato delgado con un alto grado de consolidación de color café claro, que muestran evidencia de haber sido húmedas y viscosas cuando fueron depositadas, dicho depósito surgen como consecuencia de la inclusión de aire frío en los flujos piroclásticos produciendo pequeñas explosiones que se depositan abajo de los flujos piroclásticos, están compuesto por material fino. Los espesores en la zona proximal son de aproximadamente 5 cm y van desapareciendo paulatinamente a medida se alejan de la caldera de Ilopango.

La secuencia de la TBJ puede ser interrumpida, faltando alguna unidad, dificultando la identificación estratigráfica de estas, como es el caso de la unidad "G" que en algunas zonas del AMSS no se cuenta con presencia de esta unidad debido a procesos antrópicos y procesos geodinámicos contemporáneos que muchas veces da lugar a dudar sobre su existencia. Uno de los procesos antrópicos en el cual es removido la unidad "G" es en los proyectos urbanísticos, en donde en las mayoría de ocasiones se hace una mezcla entre la unidad F y G debido requerimientos de nivelación de terrazas. En otros casos en donde la unidad "G" es de poco espesor, ésta desaparece por completo.

2.4. Comportamiento y problemática que afecta la TBJ

La Tierra Blanca Joven (TBJ) está compuesta por diferentes unidades, entre ellas se encuentra la unidad "G", la cual es la más superficial. Según pruebas de laboratorio a los que se ha sometido a lo largo de la historia, concluyen en que es un suelo colapsable.

Las observaciones de campo realizadas en varios taludes en ignimbritas del AMSS, muestran el apareamiento de fisuras que progresan a grietas, que aparecen de manera regular en los taludes. La naturaleza isotrópica de los depósitos de flujos piroclásticos permite que el intemperismo físico opere en estos materiales cuando en los taludes incide la acción solar. Esas discontinuidades surgen lentamente debido a varios factores como la variación diurna de la temperatura, a la acción de las lluvias, emplazamiento y desarrollo de raíces en su interior, y a las sacudidas producidas por los sismos.

2.4.1. Factores que afectan la TBJ

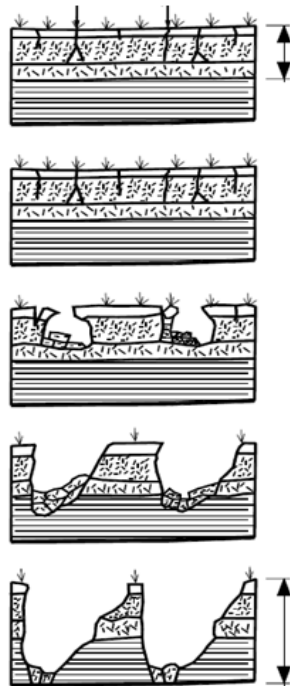
Los depósitos de TBJ, según lo observado en campo presentan problemas debido a eventos tales como: Sismos, lluvias, procesos antrópicos, ruptura de tuberías y la erosión entre otros. La incidencia de los sismos en los depósitos de TBJ, es debido a que las ondas sísmicas al pasar de un medio más denso a uno menos denso se produce una disminución de velocidad

de onda, tal cambio de velocidad genera una amplificación en la onda sísmica, teniendo como resultado vibraciones de suelo más fuertes. De acuerdo al departamento de Sismología del Servicio Nacional de Estudio Territoriales (SNET), mensualmente se reportan entre 5 y 10 sismos, perceptibles por la población, esa frecuencia de sismos ofrece una idea de las vibraciones a las que los taludes compuestos por estos materiales son sometidos. Las lluvias y la disminución de la infiltración por el cambio de uso de suelo (crecimiento urbano) y la invasión de zonas de inundación producen un incremento de la escorrentía superficial, generando un aumento en los caudales de ríos y quebradas, que es donde se encuentran mayores espesores de unidad "G" al descubierto, la cual es altamente erosionable por ser poco consolidada y colapsable.

En el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) la mayor problemática se da en los drenajes naturales, ya sea por su invasión o por las construcciones muy cercanas a los escarpes, por lo que a los pocos años se experimentan derrumbes, erosión y colapso.

Uno de los fenómenos que se observa en la formación de las cárcavas, es la que se dan por la erosión superficial o subterránea, en este último el proceso de formación a veces no es visible, hasta que se presenta el colapso del talud o superficie, pudiéndose dar por la ruptura de una tubería.

Corrientes superficiales



Corrientes subterránea

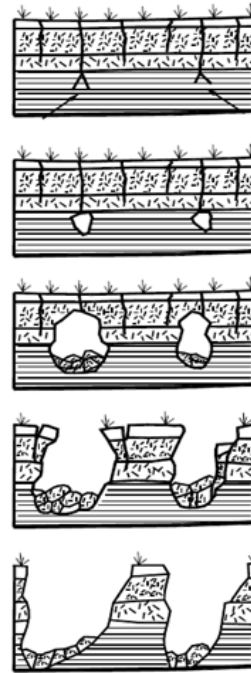


Figura 2.8. Proceso de formación de cárcava (Jaime S, 1998: p.269).

La escorrentía superficial y subterránea es uno de los agentes más relevante en la generación de erosión, la cual puede ser de diferentes tipos, entre algunos, se pueden mencionar:

- Erosión planar del suelo (es un proceso que impacta las laderas sin vegetación),
- Erosión subterránea (el mecanismo de esta erosión es cuando el agua que se infiltra en el suelo o en el sedimento, disuelve lentamente pero permanente los minerales solubles o se llevan las partículas más finas del sedimento afuera del escarpe y produce las cavernas pequeñas y después más grandes en el suelo. El resultado

de este proceso es la degradación de la superficie, el colapso o la erosión superficial),

- Erosión vertical (profundiza los lechos de cañones y las quebradas),
- Erosión lateral (amplía las quebradas y cañones. Muchas paredes de las quebradas y cañones se derrumban por la erosión lateral de la corriente del río).

2.4.2. Mecanismo de ruptura

Los depósitos de TBJ, presentan un mecanismo de ruptura peculiar, éstos se muestran como estructuras laminares, que se generan paralelas a la cara de los taludes y su formación depende de una serie de procesos naturales, como el intemperismo físico o efecto de temperatura, el cual genera exfoliación, produciendo contracciones y expansiones en los estratos, creando así grietas.

La exfoliación es el mecanismo que genera esas discontinuidades que son planos de origen mecánico, resultante de las contracciones y expansiones diferenciales producidas por la acción térmica diaria del sol y se caracterizan por tener superficies planares que separan en bloques el talud (González de Vallejo et al.2002). Como este proceso es continuo, más hacia el interior de la cara del talud otra fisura comienza aparecer y así sucesivamente, hasta que aproximadamente a 1 - 1,5 m de la cara del talud y sobre la

superficie del terreno, ya no se observan estas discontinuidades, porque la acción solar ya no tiene incidencia.

La lluvia es otro de los factores que participan en la formación de las grietas, el agua entra en éstas, produciendo un aumento en la presión de poros, haciendo que se abran más y facilitando el crecimiento de raíces dentro de ellas. Las raíces se desarrollan fácilmente penetrando a lo largo de las fisuras de los taludes, cuando éstas se tornan más gruesas producen una presión lateral en el interior de las discontinuidades, siendo la porción más externa la que se separa del talud, y facilitando la infiltración del agua. En estas condiciones y ante la presencia de una lluvia torrencial, la sección formada por la discontinuidad se cae, por el aumento de peso del agua intersticial, venciendo así las fuerzas resistentes (Hernández, 2004: p.96). Las figuras 2.9 muestran el mecanismo de ruptura de la unidad "G".

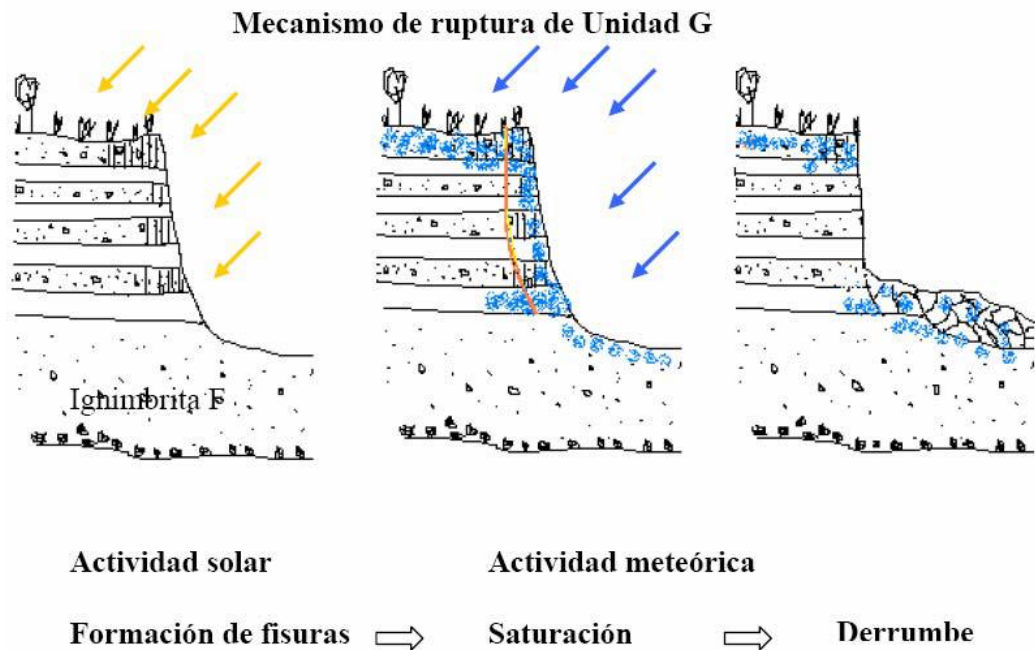


Figura 2.9. Intemperismo, ruptura y derrumbe de la ignimbrita de la unidad “G” (Hernández, 2004: p.96).

2.5. Obras de protección

Las obras de protección son todas aquellas construcciones que sirven para satisfacer las necesidades de seguridad de la población, ante la interacción del desarrollo urbano y el entorno natural. Debido a la problemática en este material, se ve la necesidad de proteger a todas aquellas obras ingenieriles que están cimentadas sobre la unidad “G” de la TBJ ante la acción del agua, que es el factor detonante de la mayoría de problemas.

Existen diferentes obras de protección que de manera general se pueden

clasificar en estructurales y no estructurales, las estructurales son todas aquellas soluciones constructivas que son diseñadas para resistir cargas de acuerdo a una determinada sollicitación y las no estructurales son todas aquellas soluciones constructivas que no son diseñadas para resistir cargas, ambas pueden cumplir una función de protección contra la erosión e inundación.

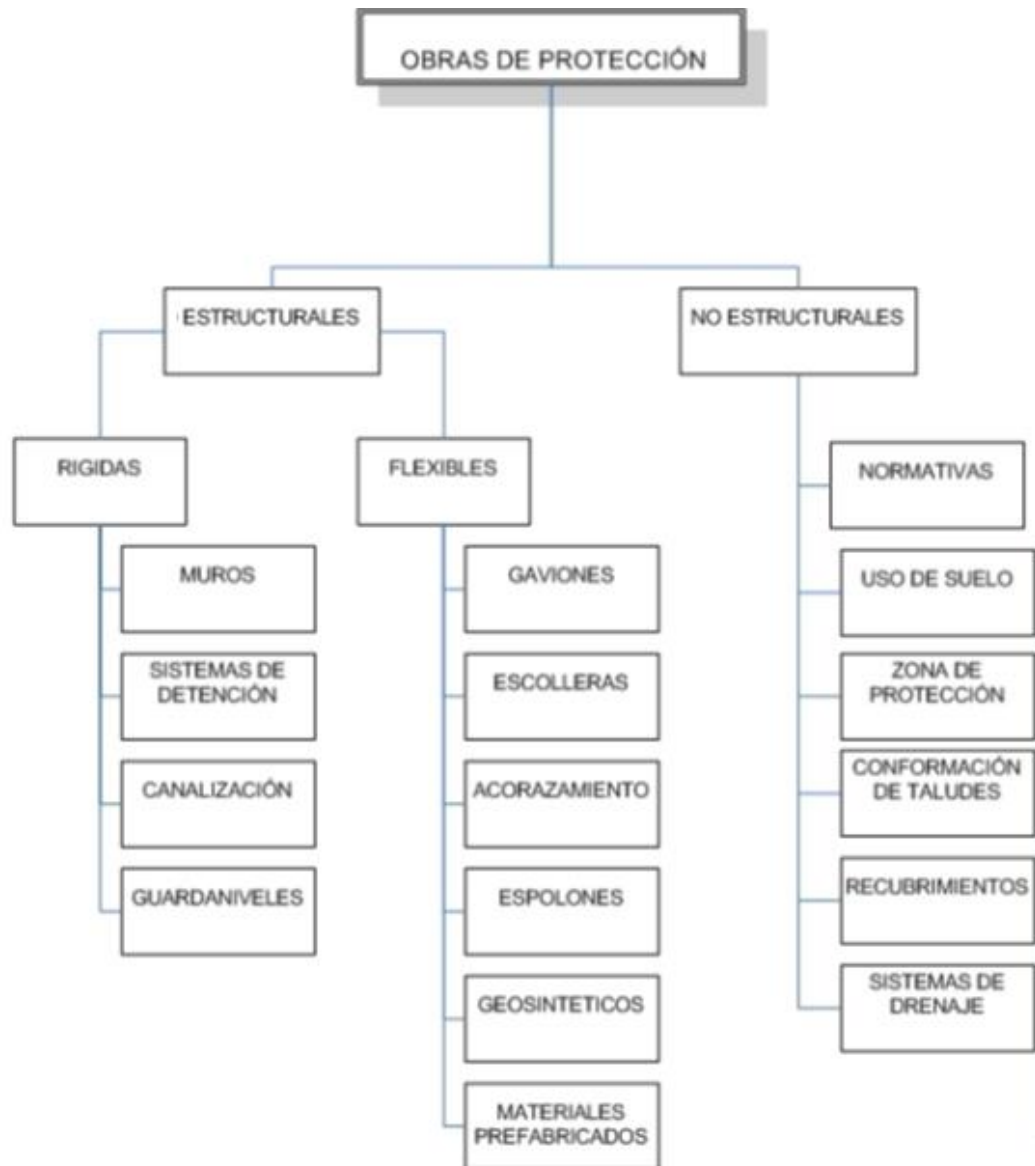


Figura 2.10. Flujograma de obras de protección (Berta Molina et al, 2009: P. 100).

2.5.1. Obras de protección estructurales

Las obras de protección estructurales pueden ser longitudinales y/o

transversales y se clasifican de acuerdo a su capacidad de deformabilidad ante presiones ejercidas o su propio peso, éstas pueden ser estructuras flexibles o rígidas. Por lo usual una estructura queda dentro de uno u otro grupo según el material o componentes que la forman.

Estructuras rígidas.

Las estructuras rígidas son aquellas que no se deforman cuando se les aplica diferentes fuerzas, excepto si sus elementos se rompen produciendo una falla en el elemento. Dentro de las estructuras rígidas podemos mencionar los muros, sistemas de detención, canalización, guardaniveles, etc.

Muros: Se pueden definir como toda estructura continua que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno. Existen dos tipos de muros los cuales son muros de gravedad y muros estructurales.

Muros de gravedad: Son muros que resisten las fuerzas de empuje del terreno por su gran masa, gracias a sus grandes dimensiones los esfuerzos de flexión son mínimos por lo que no necesitan reforzamiento por tensión, estos los podemos clasificar como muros de: mampostería, hormigón, etc.

Muros estructurales: Son un concepto más refinado del muro de gravedad, poseen una pantalla mucho más delgada, su perfil normalmente

es el de una L o T y utilizan el peso del relleno para proveer mayor resistencia al deslizamiento y al volteo. Por sus dimensiones más pequeñas que los masivos utilizan menores cantidades de materiales pero si necesitan refuerzo por flexión por lo que requieren de un trabajo más calificado, en la figura 2.11 se pueden observar las partes principales por las que está compuesto un muro de gravedad en voladizo.

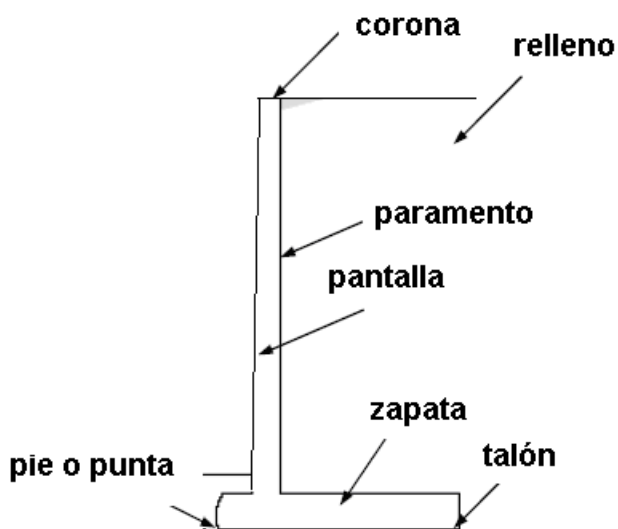


Figura 2.11. Principales partes de un muro de gravedad en voladizo.

Sistemas de detención: Estos sistemas son estructuras especiales debido a que no estabilizan masas de suelo, siendo su objetivo fundamental el de controlar el caudal de las escorrentías hacia un colector pluvial o cuerpo receptor y estos sistemas intentan emular el comportamiento antes de que se urbanizara ya que por el incremento del desarrollo urbano se reducen las

áreas de infiltración, aumentando el caudal pico y por ende se reduce el tiempo de concentración de esorrentía, generando problemas aguas abajo.

Canalización: La canalización de ríos consiste en el reforzamiento artificial con materiales impermeables de la sección transversal de un río o quebrada, con el fin de cambiar o controlar la dirección del flujo de agua, su principal función es impedir la erosión de los márgenes y del fondo del cauce originados por la excesiva velocidad del agua, que tiende a arrastrar el material de las orillas.

Guardaniveles: También denominados obras transversales para control torrencial. Operan como pequeñas presas vertedero (estructuras de control). Sus objetivos principales son: Reducir la velocidad del flujo, retener sedimentos y mantener los niveles del río para evitar la erosión en tramos específicos. Pueden fallar por mala cimentación, o por socavación generada inmediatamente aguas abajo.

Estructuras flexibles.

Las estructuras flexibles son aquéllas en las que cuando se les aplica una fuerza o por su propio peso, su estructura se deforma controladamente buscando su equilibrio estructural al desplazarse los elementos que la integran. En las estructuras flexibles podemos mencionar: Gaviones,

escolleras, acorazamientos, espolones, geosintéticos, geomallas, materiales prefabricados, etc.

Gaviones: El término gaviones en ingeniería, se utiliza para nombrar a una especie de contenedores en forma de paralelepípedo en los que se recolectan piedras estancadas con malla de alambre.

Algunas de las características de este tipo de estructuras son: Primero permiten la adaptación a deformarse y a movimientos dentro de los límites aceptables, sin perder su estabilidad y eficiencia, segundo son elementos permeables y tercero no solo funcionan como muros de gravedad sino que también como protección.

Los gaviones se utilizan en:

- Control de ríos: Se encarga de acelerar el estado de equilibrio del cauce. Evita erosiones, el transporte de los materiales y posibles derrumbamientos de los márgenes, otra de sus funciones es la protección de los valles y las poblaciones contra inundaciones.
- Muros de contención: En este caso el objetivo que persigue es conservar una diferencia entre los distintos niveles de suelo, de manera que constituye un conjunto importante de elementos de soporte y de protección, especialmente en los lechos de ríos.
- Conservación de suelos: Ésto es porque la erosión hídrica acelerada

es muy perjudicial para los suelos, ya que por ésto muchas superficies fértiles se pierden, a causa de que el material sólido que se va desprendiendo a lo alto y medio de la cuenca origina el asolvamiento de la infraestructura hidráulica que se haya en la parte baja.

Escolleras: La escollera (o enrocado) es la unidad formada por agrupación de elementos pétreos naturales, generalmente procedentes de canteras. Los elementos o escollos se colocan sin ligante, de manera que la unidad no es monolítica. Su estabilidad se debe al peso propio de los escollos y a su imbricación. Con escolleras se pueden formar estructuras independientes cuyo funcionamiento es por gravedad.

Lógicamente son estructuras permeables y de poca resistencia ya que no existe monolitismo. Por esta última razón, el mayor uso de las escolleras no es como estructura independiente si no como revestimiento, protección o defensa de otra estructura, como es el caso de un dique longitudinal de tierras impermeables o la orilla de un cauce cualquiera (ver figura 2.12). En todos estos casos el talud o la orilla debe ser estable geotécnicamente (la escollera en principio no ha de resistir el empuje de tierras), y el papel de la escollera es impedir su destrucción por la acción de la corriente, para lo que pone en juego su resistencia al arrastre. Para evitar el derrumbe del talud de escollera por la acción de la erosión del lecho del drenaje debe

continuarse enterrando en el cauce hasta la profundidad adecuada frente a la erosión.

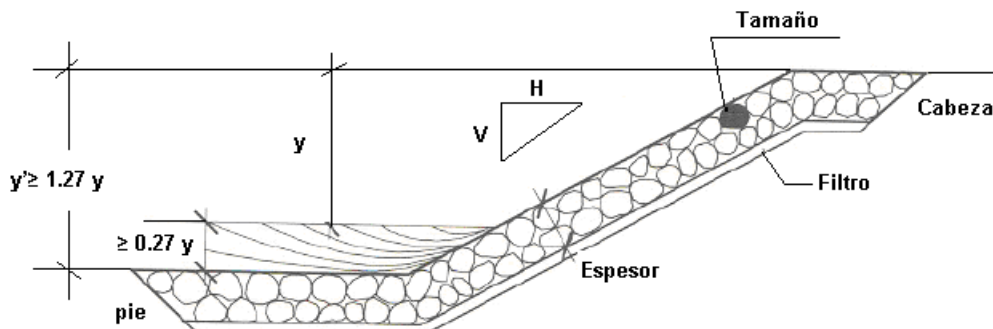


Figura 2.12. Características de una protección de escolleras (Martín Vide, 2002: p. 243).

Acorazamientos: Refuerza el fondo del lecho del río con material que pueda resistir las fuerzas de arrastre generadas por el agua, éste puede ser por materiales pétreos debidamente sujetos al fondo del lecho (gaviones de colchón reno). Su papel principal es el de impedir el derrumbamiento por acción de la corriente para lo que se pone en juego su resistencia al arrastre.

Espolones: Son estructuras que se extiendan perpendicularmente al flujo del río dependiendo de la función que se quiera que cumplan ya sea ganando o perdiendo sedimentos, éstas son estructuras agresivas que, en lo posible, deben evitarse porque pueden producir problemas erosivos sobre las márgenes del tramo aguas abajo. Son efectivos cuando se colocan en un sector de alto volumen de transporte de sedimentos en

suspensión, si se necesitan para favorecer los procesos de sedimentación. Son estructuras permeables, cuyo objetivo es inducir la sedimentación en un tramo adyacente, aguas arriba de las obras. Pueden fallar por erosión en la punta del espolón o en el tramo inmediatamente aguas abajo. Los tipos de espolones se pueden observar en la figura 2.13.

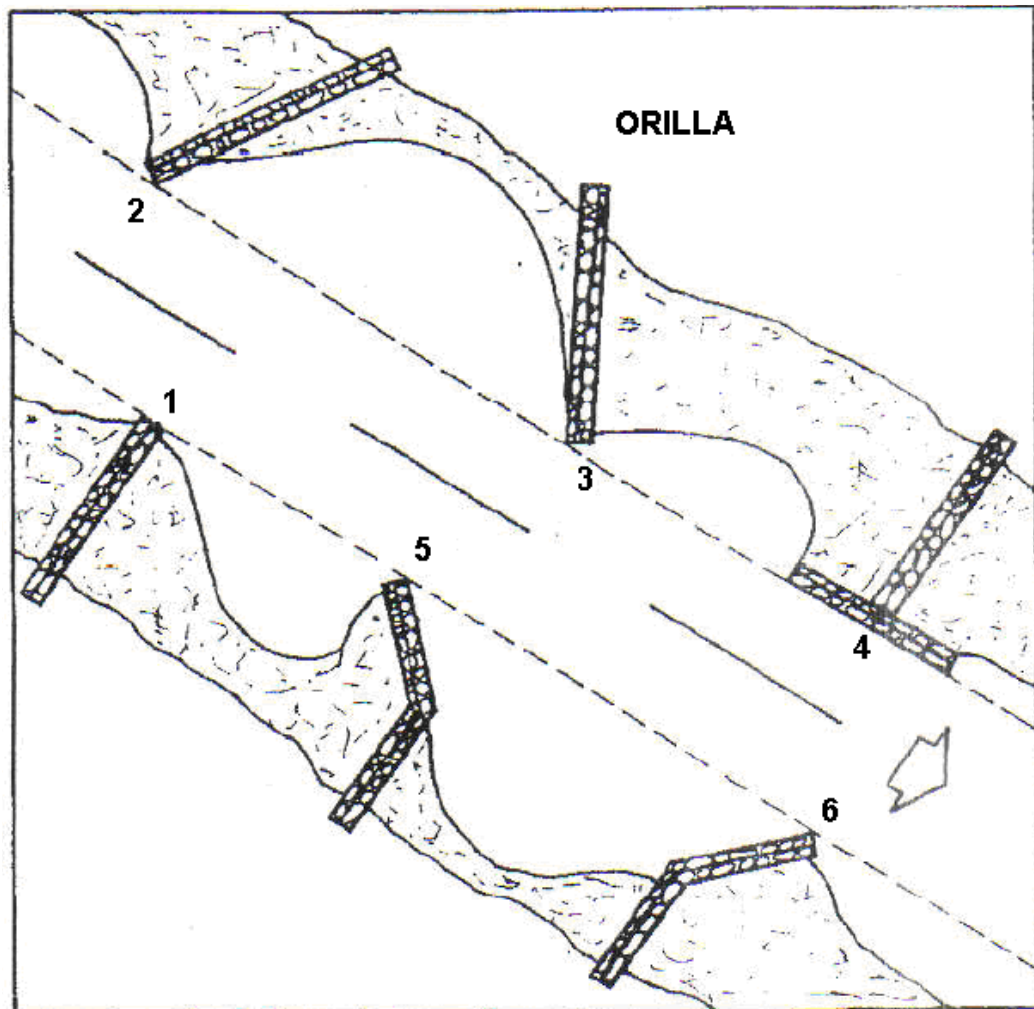


Figura 2.13. Tipos de espolones, 1) Recto, 2) Hacia aguas arriba, 3) Hacia aguas abajo, 4) Tipo de martillo o en T, 5) Bayoneta hacia aguas arriba y 6)

Bayoneta hacia aguas abajo, tomado de Chávez y Guzmán (1987)

Geosintéticos: Son productos de última tecnología, cuyo campo de acción abarca temas como el control de la erosión, drenaje y filtración, o relleno sanitario, entre otros. Son materiales que se fabrican a partir de varios tipos de polímeros, utilizándose para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica. Las propiedades que se deben considerar cuando se determina la conveniencia de estos materiales son: Resistencia, durabilidad, adhesión, rigidez y arrastre.

Materiales prefabricados: Existen diferentes materiales prefabricados para la conformación de muros flexibles entre los cuales se pueden mencionar: Mantas prefabricadas de bloques, tablaestacas y los pilotes entre otros.

- Mantas prefabricadas de bloques (sistemas cable concreto): Consiste en unos bloques de concreto fragmentado con formas variadas, unidos con un cable de acero inoxidable galvanizado y pegados en la parte inferior con una tela geotextil durante la fabricación. Las aplicaciones pueden ser para protección de orillas de lagos, ríos, canales, terraplenes de alcantarillas, taludes de diques y represas; rampas y vías de acceso, etc.

- **Tablaestacas:** Suelen ser de acero, aunque también las hay de hormigón, vinilo o aluminio, Los elementos prefabricados que componen las tablestacas se hincan en el terreno mediante vibración unidas entre si por conexiones tipo rotula la que funciona en sentido contrario al empuje.

2.5.2. Obras de protección no estructurales

Como se definió anteriormente este tipo de protecciones no resisten cargas, su utilidad es más de regulación, estabilización o de recubrimiento. Entre este tipo de obras podemos mencionar:

Normativas, uso de suelo, zonas de protección, conformación de taludes, recubrimientos y sistemas de drenaje.

Normativas.

Pueden regular la construcción de obras de civiles en los depósitos de TBJ u otros, éstos tendrían que estar fundamentadas en investigaciones locales y de acuerdo a la realidad geológica del país, para poder delimitar lineamientos o requisitos mínimos a cumplir y así proporcionar soluciones que sean seguras, técnicas y financieramente factibles.

Uso de suelos.

Los mapas de uso de suelo aportan datos o información sobre las características y propiedades del suelo de una determinada zona, para recomendar los tipos de proyectos o tipos de urbanizaciones más

adecuadas, clasificando también áreas con problemas geológicos y geotécnicos. Pueden demarcar áreas de desarrollo urbano ambientalmente favorables o sostenibles. Siendo la planificación de uso de suelo o la zonificación, la metodología que reduce de manera eficaz el riesgo.

Zona de protección.

Es la franja o distancia de protección mínima que se establece entre las construcciones a un accidente topográfico o drenajes, para proteger a la población de la inestabilidad del suelo o de posibles inundaciones. La distancia mínima dependerá mucho de las condiciones del entorno donde se quiera urbanizar, para lo cual se necesitarán estudios geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos entre otros, considerando también la problemática que se presente en cada lugar en específico.

Conformación de taludes.

La conformación de taludes es la búsqueda del equilibrio de una masa de suelo por medio de un ángulo de inclinación (ángulo de fricción) medido a partir de la horizontal, los cálculos para verificar la seguridad de los taludes se llaman análisis de estabilidad de taludes, el cual implica el determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo Das B. (2001: p.339). Debido a que los taludes son superficies expuestas a la intemperie

(terrazas), es necesario proporcionarles un recubrimiento con un sistema de drenaje de canales abiertos, con el fin de mejorar su funcionalidad, durabilidad, evitar que el talud absorba agua y sean degradados por la erosión.

También es importante mencionar la conformación de bermas o escalonamiento que se utilizan para disminuir la fuerza erosiva del agua que escurre superficialmente por los taludes o un corte por el terreno natural. Estos elementos pueden encauzar más convenientemente al agua colectada si se les da una pendiente apropiada hacia los sistemas de drenajes en un talud; de lo contrario esta agua erosionaría de otra manera los taludes causando arrastres que provocarían problemas en las cunetas o se infiltrarían en el propio talud, causando la inestabilidad general de éste.

Recubrimientos.

Entre los recubrimientos o cubiertas para talud podemos mencionar: Vetiver, gaviones de colchón reno, sistemas de cable concreto, entre otros. El más utilizado es el vetiver por su bajo costo y poco mantenimiento.

- Vetiver: Existen dos tipos de vetiver los cuales son: Nemoralis y zizanioides su diferencia es que este último es mucho más alto, tiene los tallos más gruesos y rígidos, y gracias a que sus raíces crecen en forma vertical, proveen una mejor estabilidad de los taludes, pero

es importante aclarar que el talud tiene que poseer su propia estabilidad previo a la siembra del vetiver. El Vetiver es un tipo de grama que puede crecer hasta 1,5 metros, sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas, las raíces del vetiver crecen de manera vertical, alcanzan una profundidad de hasta 4 metros (vetiver zizanioides) y actúa como un filtro para atrapar la erosión de los sedimentos, crea terrazas naturales y reduce la velocidad de la escorrentía de las precipitaciones, lo que ayuda también a que la erosión sea menor en los drenajes naturales. Tiene aplicación en la rehabilitación de los suelos y la conservación del agua, la rehabilitación de tierras erosionadas y la prevención de la erosión en tierras en pendiente, gracias a que éste tiene la característica de poder atrapar los sedimentos, lo que hace que no se pierda más los suelos y que puede sobrevivir en condiciones con poco mantenimiento. Entre las características que éstos presentan se pueden mencionar:

- Crece bajo extrema y amplia gama de condiciones.
- Larga vida de hierba perenne.
- Temperaturas del ambiente: -15°C a $> 55^{\circ}\text{C}$.
- Tolera en todos los niveles elevados de metales pesados.
- Tolerante al fuego.

- Tolerante a largo y total inmersión en el agua.
- Resistente a la mayoría de las plagas y las enfermedades.

2.6. Suelos colapsables

Se define como colapso al fenómeno caracterizado por la brusca reducción de volumen ocasionado por el aumento de la humedad, con presencia o no de sobrecarga. Una de sus principales características es que muestran una distribución macro-porosa, donde las partículas menores se mantienen en equilibrio por la presencia de un vínculo que es capaz de ofrecer al suelo una resistencia adicional temporal, proveniente de las tensiones capilares y la presencia de sustancias cementantes.

El colapso de una estructura de suelo depende fundamentalmente de dos causas: De la importancia de los cambios provocados por el agua en los vínculos existentes entre las partículas y del estado tensional en los vínculos. Por consiguiente para que se produzca el colapso es necesaria la inclusión de agua a su estructura, que es detonante del colapso en la unidad “G” de la TBJ.

2.7. Generalidades del Municipio de Ayutuxtepeque.

Topografía: La elevación más notable dentro del municipio es el cerro El Carmen, situado al norte de la ciudad de Ayutuxtepeque. Su elevación es de 796.74 metros sobre el nivel del mar. A pesar de ser Ayutuxtepeque un municipio con poca área respecto a los otros municipios del AMSS, posee

una topografía variada, diferenciando cuatro zonas,

- a) El Centro Urbano, que es el área más pequeña y plana,
- b) El cerro El Carmen,
- c) El sector de los Llanitos, al norte con una topografía plana en general; pero irrigada por varias quebradas y
- d) El cantón El Zapote, ubicado al poniente, en las faldas del volcán de San Salvador, y con una topografía escarpada.

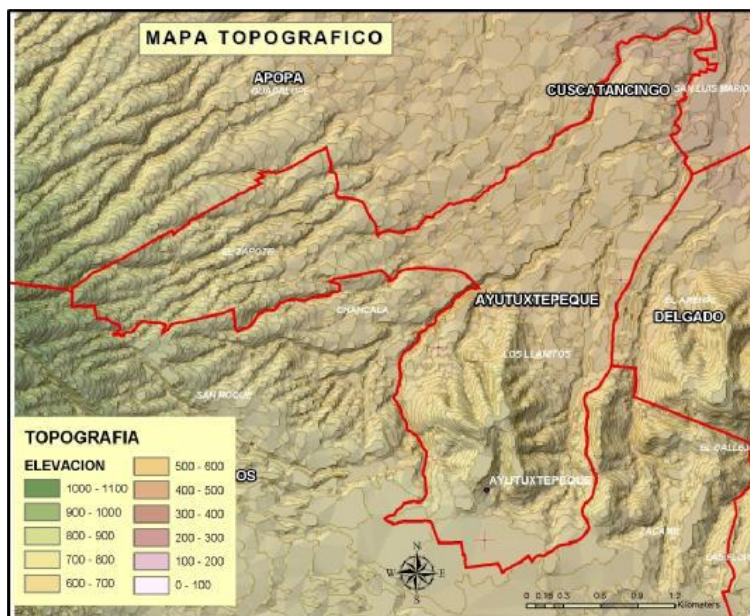


Figura 2.14. Topografía (Elaboración MARN y CNR)

Pendientes.

Respecto a las pendientes, el municipio tiene las zonas “a” y “c” con pendientes suaves y las zonas “b” y “d” con pendientes de moderadas a fuertes, éstas principalmente al costado este del cerro.

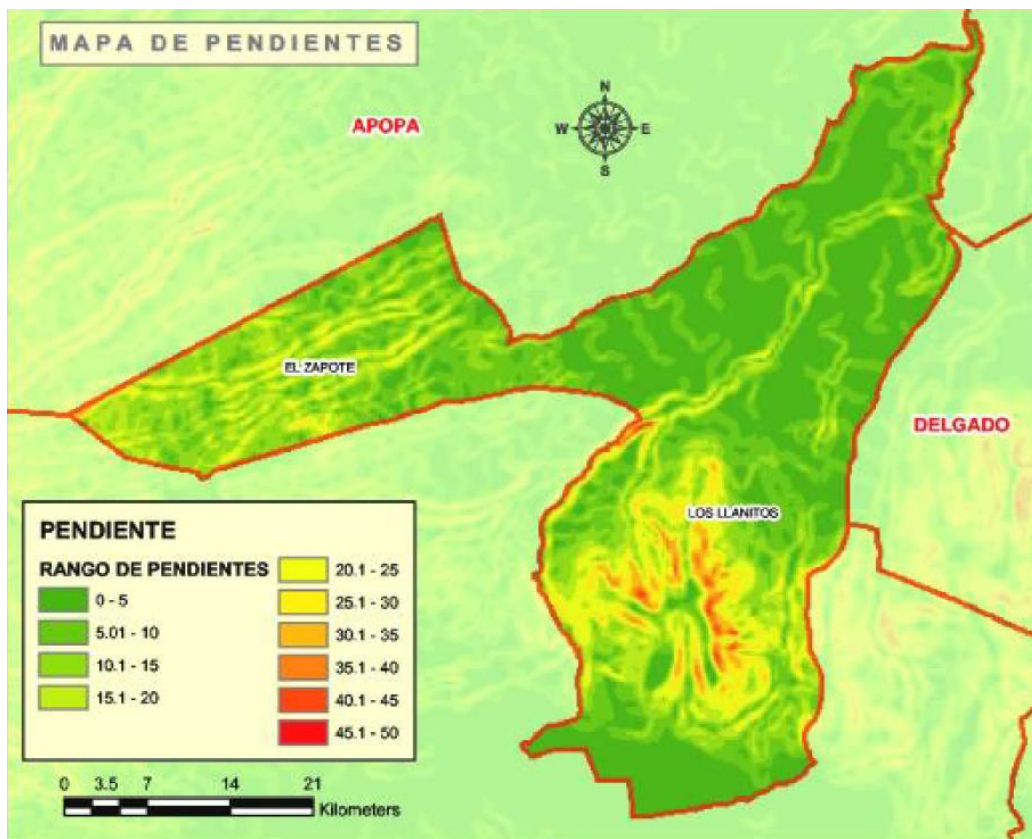


Figura 2.15. Pendientes (Elaboración MARN y CNR)

Aguas Superficiales.

Irrigan el municipio los ríos: Santa María y Arenal; las quebradas: de Morazán, El Zapote, Barranca Honda, Cháncala y Chicahuasta. Todo el municipio forma parte de la cuenca del Acelhuate, que es tributaria al Río Lempa.



Figura 2.16. Hidrografía (Elaboración MARN y CNR)

Riesgos Ambientales

Las principales causas de catástrofes naturales se podrían derivar por:

- Lluvias,
- Sismos,
- Actividad Volcánica o
- Combinación de las anteriores

Riesgo por Lluvia: La lluvia puede ser uno de los principales detonantes en algunas zonas de Ayutuxtepeque, para el caso cantón El Zapote, la quebrada Chicahuasta y el cerro El Carmen, posibilitando el riesgo de deslizamientos o derrumbes; la probabilidad de ésto aumenta cuando se combina con factores tales como:

- Pendientes pronunciadas
- Suelos no consolidados
- Deforestación

A partir del Sistema de Información Territorial (SIT), se han generado dos mapas que con base a curvas de nivel, se determinó en el primero la estabilidad del suelo respecto a las pendientes, y en el otro, un mapa de humedad del suelo, considerando el índice de saturación; esta información combinada con el tipo de suelo y el mapa de vegetación, permite tener un panorama más claro de este tipo de riesgo.

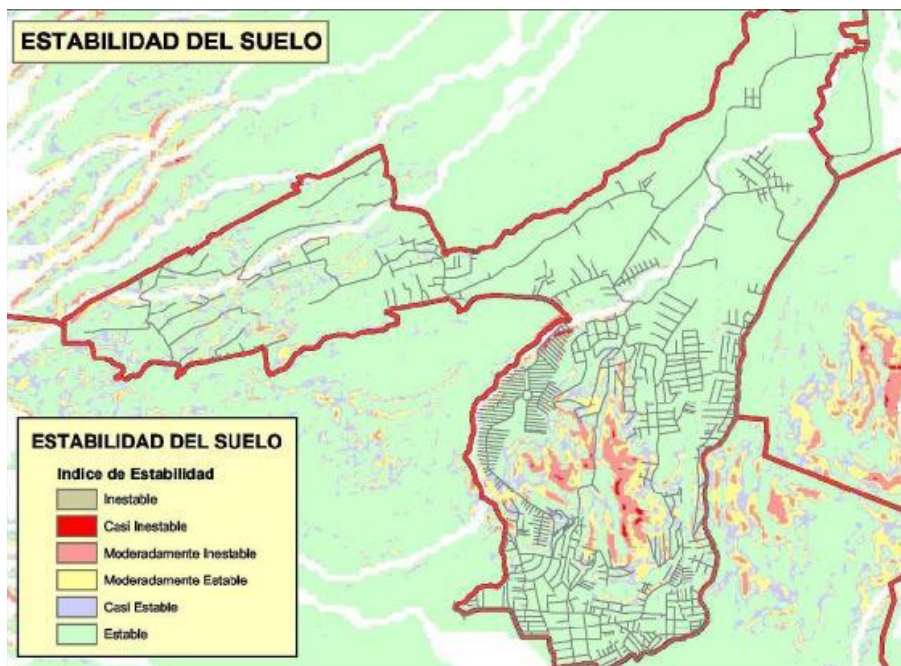


Figura 2.17. Estabilidad del suelo (Elaboración MARN y CNR)

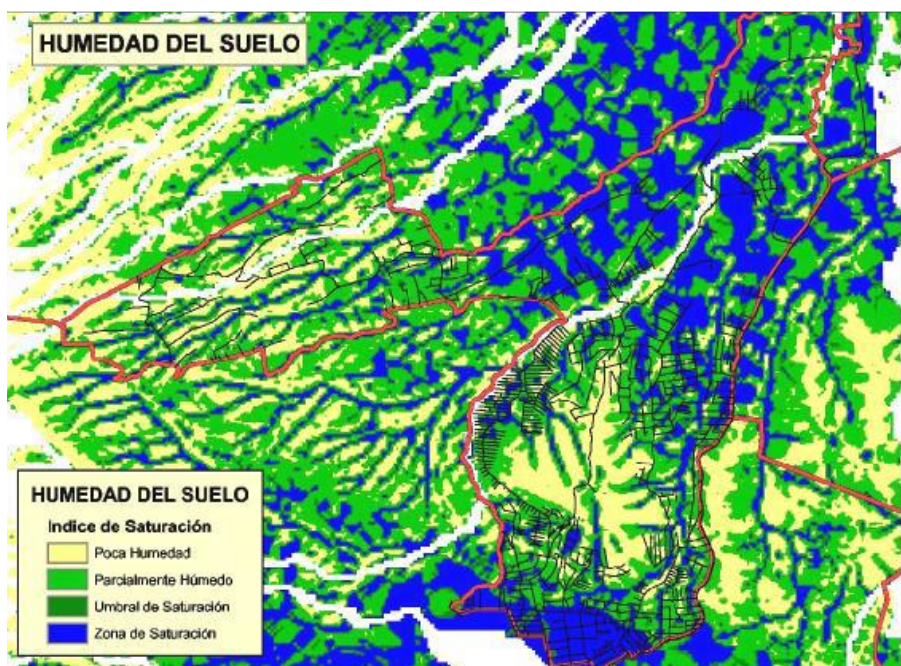


Figura 2.18. Humedad del suelo (Elaboración MARN y CNR)

Riesgo por Sismos: El riesgo por sismos en Ayutuxtepeque es latente; aunque menor que en otras áreas del AMSS; si bien al observar el mapa siguiente, se advierte que el municipio está en el límite del sistema de fallas de San Salvador y los epicentros relativamente alejados, pero en los dos últimos terremotos (2001), hubo daños considerables en algunas zonas, principalmente en estructuras habitacionales.

Las zonas que se mencionaron en riesgo por lluvia, son también susceptibles a deslizamiento por sismo; cantón El Zapote, la quebrada Chicahuasta y el cerro El Carmen.

Riesgo por Actividad Volcánica

Éste es otro de los riesgos latentes que en Ayutuxtepeque se corre, siendo que el volcán de San Salvador; todavía es considerado como un volcán activo.

Peligrosidad de los flujos lávicos.

Para este edificio (volcán) la emisión de lava puede ocurrir, bien del cráter central de El Boquerón, o de fracturas eruptivas que se abren en el flanco del edificio del San Salvador, las cuales son fracturas conectadas, al sistema tectónico dominante NNW, NW y WNW. Además es poco probable que fenómenos eruptivos del futuro superen las distancias máximas logradas en las erupciones anteriores (7-8 Km.), debido a la frecuencia y edad de los fenómenos en el pasado. Las zonas sujetas a riesgo son: la

parte somital del volcán, especialmente el área entre El Picacho, el borde de la "Caldera" y El Boquerón. El sector meridional del volcán con posibilidad de invasión lávica en las colonias situadas hacia el extremo occidental del municipio de San Salvador, en el departamento de San Salvador, además: el cantón La Puerta de La Laguna, del municipio de Antiguo Cuscatlán y el caserío San Antonio La Joya del municipio Nuevo Cuscatlán; todos del departamento de La Libertad. Igualmente queda comprendida la cabecera de este último departamento.

CAPÍTULO III: OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN EN COMUNIDAD CRISTO REDENTOR, COLONIA DIVINA PROVIDENCIA Y MITIGACIÓN DE CÁRCAVAS EN COLONIA BELGALATEA.

3.1 Comunidad Cristo Redentor.

3.1.1 Antecedentes.

Se llevó a cabo una inspección sobre la Calle Principal de la Comunidad Cristo Redentor, donde se ha generado una cárcava en un terreno al costado oriente de la calle, la cual, según indicaron los habitantes del lugar, comenzó hace aproximadamente 10 años. Se verificó la problemática del desgaste por erosión del terreno y se identificó el punto más crítico de afectación sobre la calle, donde ya no es posible la circulación de vehículos. Al momento de nuestra inspección se observó que dicho tramo no cuenta con las medidas de protección adecuadas, ni obras para desviar el agua lluvia que se acumula sobre la calle para que ésta no sea vertida directamente sobre la superficie de la ladera (ver Fotografía 3.1 y 3.2).



Fotografía 3.1. Tramo inconcluso de la calle principal (abril, 2021).



Fotografía 3.2. Tramo de la calle afectada por la erosión (abril, 2021).

Los habitantes del lugar manifestaron su preocupación por la existencia y cercanía de esa cárcava y asociaron el inicio de ésta y su rápido avance, como producto de una obra inconclusa de un tramo de la calle, que a través del tiempo ha sufrido erosión con el paso de diferentes tormentas, aumentando así sus dimensiones. El problema de la erosión de la ladera tiene una magnitud tal que abarca desde el un tramo inconcluso de la calle hasta la esquina de la clínica de la localidad, siendo esta longitud de aproximadamente 60 metros (ver Fotografía 3.3).



Fotografía 3.3. Esquina de la clínica hasta donde se ha extendido la erosión en ladera (mayo, 2021).

La zona es muy susceptible a sufrir problemas de erosión en sus laderas, debido a que se reúnen algunos elementos importantes para su ocurrencia, tales como el relieve o características topográficas, geología y la ocurrencia de lluvias intensas. El punto en estudio cuenta con una ladera escarpada con poca vegetación en la superficie (ver Fotografía 3.4). En cuanto a la geología, el terreno está conformado por arena limosa con pómez, lo que lo hace propenso a la erosión.

Debido a la sombra que generan los árboles y a que las personas arrojan basura sobre la ladera, esto impide el crecimiento de plantas que puedan dar estabilidad al suelo por medio de sus raíces.

3.1.2 Planteamiento de la problemática.

La erosión del terreno está afectando principalmente la parte superior de la ladera, siendo ésta constituida por arena limosa con pómez, además cuenta con una pendiente promedio de 55° y con poca presencia de vegetación adecuada, todos estos factores contribuyen a que sea posible la erosión del terreno.

Durante la estación lluviosa, la escorrentía que fluye sobre la calle a lo largo de 31.5 metros, al no poseer una canaleta continua, esta desemboca sobre el tramo de la calle inconclusa, por lo que acelera la erosión en dicho sector, poniendo en riesgo la integridad del resto de la calle y la seguridad de los

transeúntes (ver Fotografía 3.5). Durante la inspección realizada los habitantes de la zona manifestaban que han habido casos en los que los niños han estado a punto de caer en la ladera por lo angosto de la calle y por la falta de obras que restrinjan el acceso hacia la ladera.



Fotografía 3.4. Ladera escarpada con poca vegetación (abril, 2021).



Fotografía 3.5. Flujo de la escorrentía en la calle (mayo, 2021).

En el sector contiguo a la clínica, ha colapsado una parte del desagüe, lo que ha ocasionado que el agua sea vertida directamente sobre el terreno, erosionándolo de manera más acelerada por la concentración del flujo de agua (ver Fotografía 3.3).

3.1.3 Ubicación.

3.1.3.1 UBICACIÓN MACRO DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en el municipio de Ayutuxtepeque, en el departamento de San Salvador

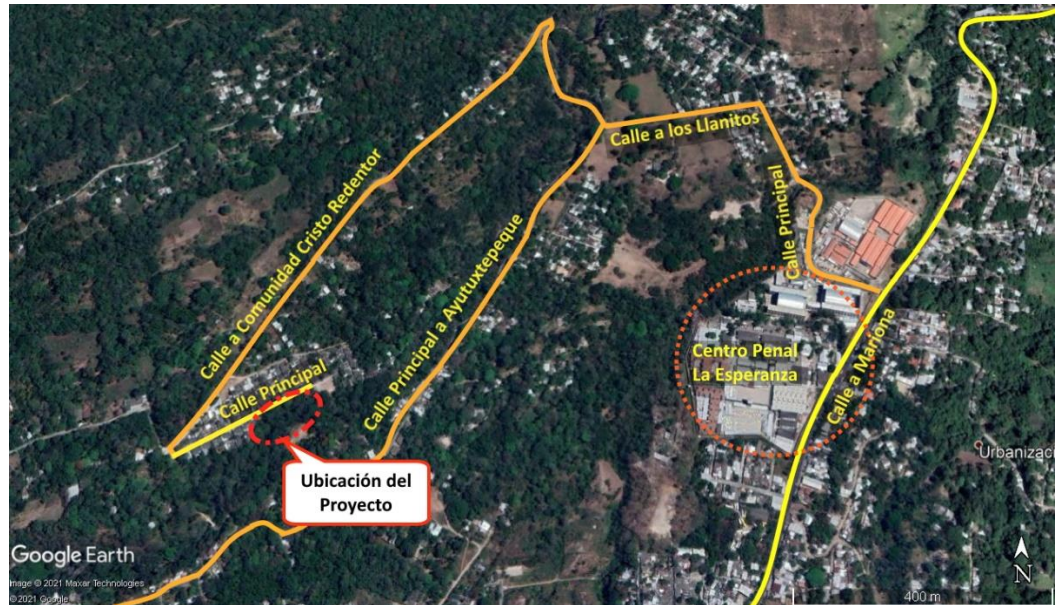


Imagen 3.1. Ubicación general de la zona del proyecto (mayo, 2021).

3.1.3.2 UBICACIÓN MICRO DEL PROYECTO

El proyecto para las obras de mitigación está ubicado en la Comunidad Cristo Redentor, a un costado de la Calle Principal; sus coordenadas de ubicación geográfica son $13^{\circ}45'23.00''N$ $89^{\circ}11'50.50''W$



Imagen 3.2. Ubicación en detalle de la zona del proyecto (mayo, 2021).

3.1.4 Clasificación de riesgo.

Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo es a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y al entorno del cual dependen.

Tomando en cuenta las condiciones que presenta el terreno donde se ha desarrollado la problemática, se han asignado puntos a distintos factores con la finalidad de obtener una puntuación total y compararla en la Tabla

3.2 dando como resultado la clasificación del riesgo que se presenta en el lugar.

Tabla 3.1. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80
Sumatoria		8.20

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla 3.2. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

La sumatoria total es 8.20 comparándola en la Tabla 3.2 corresponde a un peligro moderado siendo una zona con poca vegetación dando más impacto a la erosión debido a que se cuenta con una ladera con una pendiente mayor a 45 y un suelo que es susceptible a la erosión hídrica.

3.1.5 Descripción de la propuesta conceptual.

Las obras propuestas para mitigar la erosión en el sector objeto de estudio consisten en realizar un descapote de la ladera, así como la construcción de un muro de mampostería de aproximadamente 3 m de altura, a una distancia de 2 m de la calle principal, en modo paralelo a ésta, con una longitud total de 36 metros. La corona del muro quedará a nivel de la acera de la calle, se rellenará de forma controlada en la parte de atrás del muro para poder extender la acera hasta la corona del muro, el muro deberá

contar con una adecuada distribución de barbacanas para disminuir la presión hidrostática de los suelos. Así mismo se deberá completar el tramo inconcluso de la calle con su respectiva canaleta para evacuar el agua lluvia.

En un ancho de 10 metros sobre la ladera bajo el muro, colocar una malla geosintética anclada para dar estabilidad al suelo, ya que la parte superior de la ladera es la que está siendo más afectada por la erosión.

Para el resto de la ladera se propone una revegetación, con el objetivo que las raíces de las plantas aporten agarre al suelo superficial y lo estabilicen, permitiendo así disminuir en gran medida la erosión del mismo.

El sistema de desagüe estará conformado por una canaleta longitudinal en la parte inferior de la malla geosintética, la cual evacuará el agua acumulada a través de dos bajantes hasta la quebrada (Ver Imagen 3.4 y 3.5).

3.1.6 Esquemas de la propuesta conceptual.



Imagen 3.3. Esquema de la superficie afectada por la erosión (mayo, 2021).

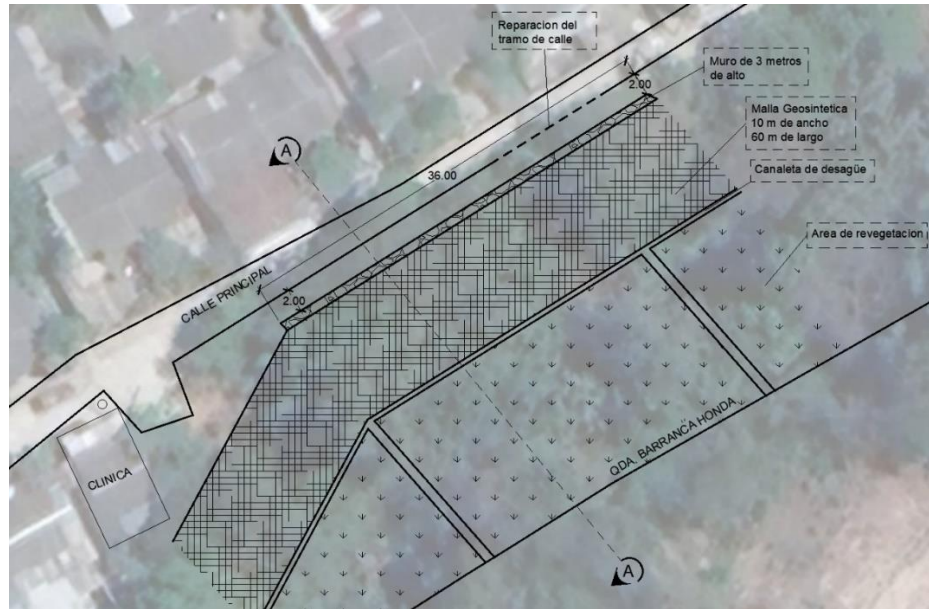


Imagen 3.4. Vista en planta de la distribución de las obras en el terreno (mayo, 2021).

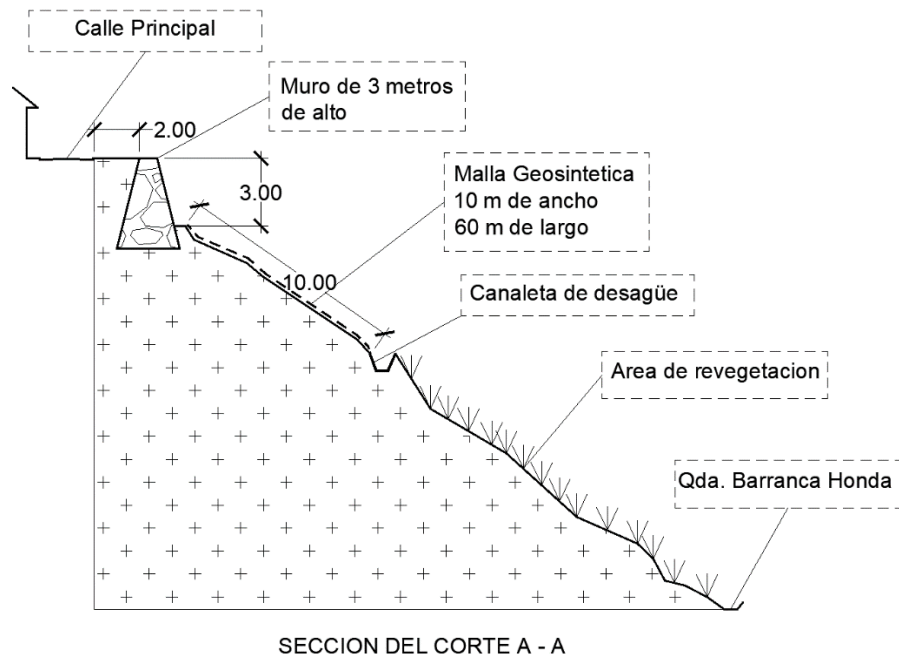


Imagen 3.5. Vista de perfil de las obras (mayo, 2021).

3.2 Colonia Divina Providencia.

3.2.1 Antecedentes.

En el sector de la Colonia Divina Providencia, al final de la Calle Principal, a un costado del Pasaje 2, se localiza un grupo de siete casas localizadas en la corona de un talud que se está erosionando. Según lo manifiestan los habitantes de dichas casas, la erosión está avanzando de forma rápida, afectando principalmente la parte superior de la ladera, por tal motivo se han colocado plásticos sobre una parte para cubrir el suelo, como medida para tratar de frenar su avance, ver Fotografía 3.6.



Fotografía 3.6. Casas al borde de la ladera (abril, 2021).

Durante la inspección realizada por parte de personal técnico de DACGER-MOPT, uno de los residentes de las casas que están en riesgo, manifestó que el día 13 de junio del 2020 sucedió un derrumbe que abarcó medio patio de una de las casas; posteriormente éste fue rellenado y se construyó un pequeño muro de bloques de concreto para ayudar un poco a sostener el suelo de esa casa.

Es de indicar que se desconoce el tiempo desde que se inició la erosión en la ladera, debido a que los propietarios alquilan las viviendas y las personas que están sufriendo este problema son las que están alquilando, quienes llegaron a vivir ahí después de haberse originado la problemática.

El suelo con el que está constituido el terreno es Tierra Blanca Joven (TBJ), un tipo de suelo que es muy propenso a erosionarse, además de contar con unas condiciones topográficas de tipo ladera escarpada, los cuales son factores que contribuyen en gran medida a la ocurrencia de deslizamientos cuando están en presencia de agua.

Debido a la abundante vegetación que se tiene en la parte inferior, la cual obstruye la visibilidad y al difícil acceso por lo escarpado de la ladera, no se pudieron determinar las dimensiones completas del área que está siendo afectada por la erosión, ver Fotografía 3.7, sin embargo, se logró determinar

que está afectando a 7 casas en un tramo de aproximadamente 60 metros de longitud.



Fotografía 3.7. Abundante vegetación existente en la parte inferior de la ladera (abril, 2021).

3.2.2 Planteamiento de la problemática

Según lo manifestado por algunas personas, la erosión ha ido avanzado de forma rápida. Hasta el momento en el que se realizó la inspección, la única medida de protección consiste en la colocación de plástico en la parte superior de la ladera, el cual fue colocado por los habitantes de las casas

que están en riesgo, ver Fotografía 3.8.

Las casas se encuentran justo al borde del talud, expuestas a que puedan sufrir daño con algún deslizamiento que se pueda generar por lo escarpado del área y por el tipo de suelo que lo conforma.



Fotografía 3.8. Vista de los daños presentes en el talud, desde el interior de una de las casas que está al borde de la ladera (abril, 2021).

3.2.3 Ubicación.

3.2.3.1 UBICACIÓN MACRO DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en el municipio de Ayutuxtepeque, en el departamento de San Salvador



Imagen 3.6. Ubicación general de la zona del proyecto (mayo, 2021).

3.2.3.2 UBICACIÓN MICRO DEL PROYECTO

El proyecto de las obras para el control de la erosión está ubicado en la Colonia Divina Providencia, al final de la Calle Principal, a un costado de las casas que están sobre el Pasaje 2; las coordenadas de ubicación geográfica son: 13°45'0.10"N 89°11'34.10"W



Imagen 3.7. Ubicación en detalle de la zona del proyecto (mayo, 2021).

3.2.4 Clasificación de riesgo.

Tabla 3.3. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Sí, incluso con fechas	0.60
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80

Sumatoria	8.50
------------------	-------------

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Tabla 3.4. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Para este caso la sumatoria es de 8.50 correspondiendo a una clasificación de peligro alto, considerando que en esta zona que está siendo afectada ya se tiene registros de derrumbes causadas por la erosión hídrica siendo la pendiente mayor a 45° y la constitución de la ladera por suelos que se reblandecen con el agua los principales factores que propician estos eventos.

3.2.5 Descripción de la propuesta conceptual.

Realizar una limpieza general y descapote de la superficie de la ladera previo a iniciar con las obras, eliminando los restos vegetales, basura y

suelos sueltos que puedan ser detectados.

Construir un muro de retención de aproximadamente 60 metros de longitud ubicado a una distancia promedio de 2 metros en dirección paralela a las casas; este muro podrá ser de mampostería de piedra o de bloque de concreto, en función del diseño, recomendándose una altura vista mínima de 3 metros.

Este muro de retención deberá contar con una adecuada distribución de barbacanas, de modo de evitar el incremento de empujes asociados a la saturación del subsuelo.

Se recomienda colocar sobre la superficie de la ladera, a partir de la base del muro, una malla geosintética de un ancho de 5 metros y 60 metros de largo, posterior a ésto, construir un sistema de desagüe que verterá el agua en la Quebrada El Banco.

Se debe cubrir con vegetación la porción restante del área de la ladera a intervenir, esta porción está delimitada por un ancho que va desde la línea de desagüe hasta la quebrada y una longitud de 60 metros, ver Imagen 3.9, ayudando de esta manera que las raíces retengan el suelo, disminuyendo en gran medida la erosión de forma natural.

Se recomienda colocar un cerco de malla ciclón a todo lo largo de la corona del muro.

3.2.6 Esquemas de la propuesta conceptual.



Imagen 3.8. Esquema de la superficie afectada por la erosión (mayo, 2021).

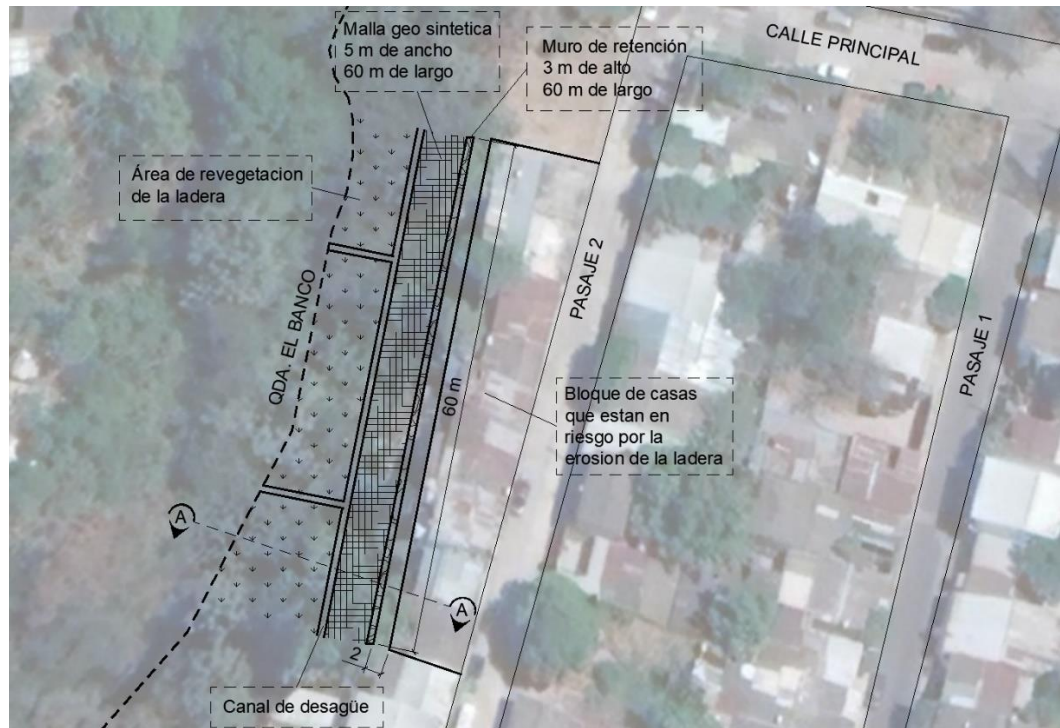


Imagen 3.9. Vista en planta de la distribución de las obras propuestas en el terreno (mayo, 2021).

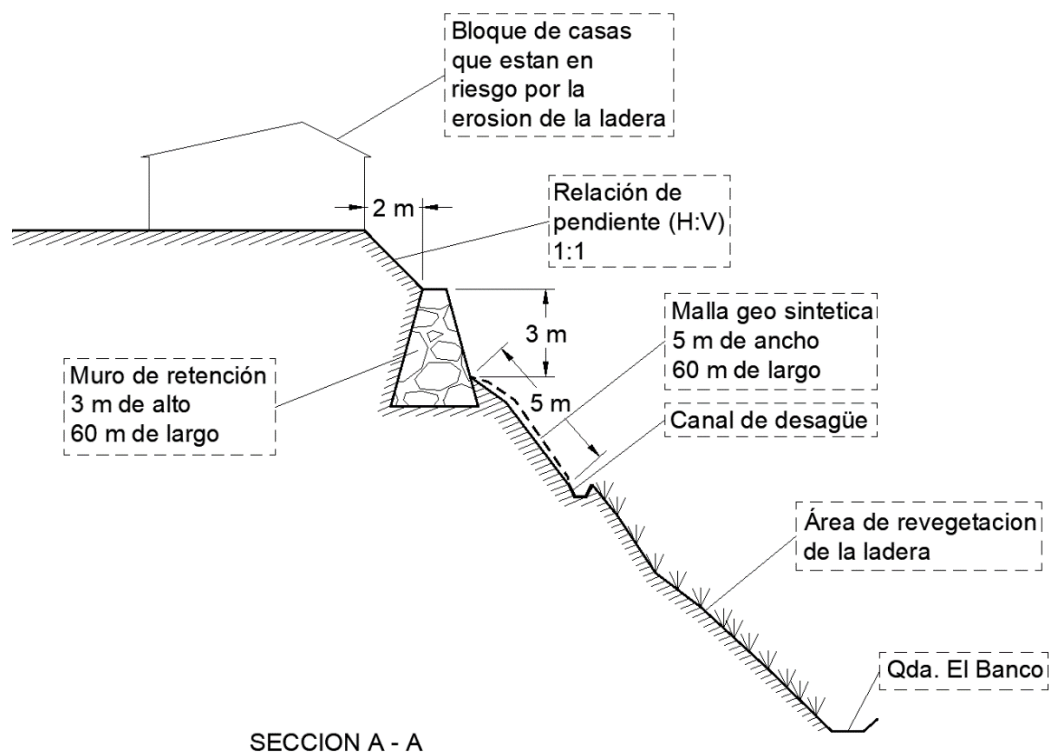


Imagen 3.10. Vista de perfil de las obras (mayo, 2021).

3.3 Colonia Belgalatea.

3.3.1 Antecedentes.

Se realizó una inspección en el final del Pasaje 3 de la Colonia Belgalatea, donde se verificó la formación de una cárcava al costado oriente, producto de la socavación que ha ocasionado el flujo de agua sobre uno de los terrenos donde se ha construido una casa. Esta casa se encuentra deshabitada por el riesgo inminente que se presenta al estar perdiendo el suelo donde está cimentada, ver Fotografía 3.9. Durante la inspección, las

personas que habitan en la zona manifestaron que en dicha casa habitaban 6 personas, las cuales abandonaron su vivienda aproximadamente en enero del 2021.



Fotografía 3.9. Socavación del suelo donde esta cimentada la casa (abril, 2021).

Según lo manifiestan algunas personas de la localidad, el problema inició hace aproximadamente 20 años y ha ido avanzando gradualmente por la escorrentía que baja hacia la Quebrada El Carmen, ya que todo el drenaje superficial del Pasaje 3 es vertido sobre este terreno, ver Imagen 3.11.



Imagen 3.11. Red de drenaje superficial que se está vertiendo sobre el terreno (junio, 2021).

La vegetación es escasa en la parte superior de la ladera, dejando el suelo expuesto a la erosión ocasionada por el flujo del agua. En la parte inferior de la ladera se observa una mayor presencia de vegetación, ver Fotografía 3.10, lo cual, sumado al difícil acceso al sitio, impide que se pueda observar el cauce de la quebrada, por lo que no fue posible tomar las dimensiones de la ladera, sin embargo, se determinó una longitud aproximada sobre el borde de la ladera de 11.10 metros, de esta longitud, 6.60 metros pertenecen al ancho de la casa que está en riesgo y que ya ha sido abandonada.

El suelo que conforma la ladera está constituido por arena limosa, ver Fotografía 3.11, lo cual es un factor que ha contribuido en la formación de la cárcava por la susceptibilidad que este material a erosionarse bajo la influencia de corrientes de agua.



Fotografía 3.10. Vegetación existente en ladera (abril, 2021).



Fotografía 3.11. Suelo existente por debajo de vivienda, el cual consiste en arena limosa, altamente susceptible a erosión hídrica (abril, 2021).

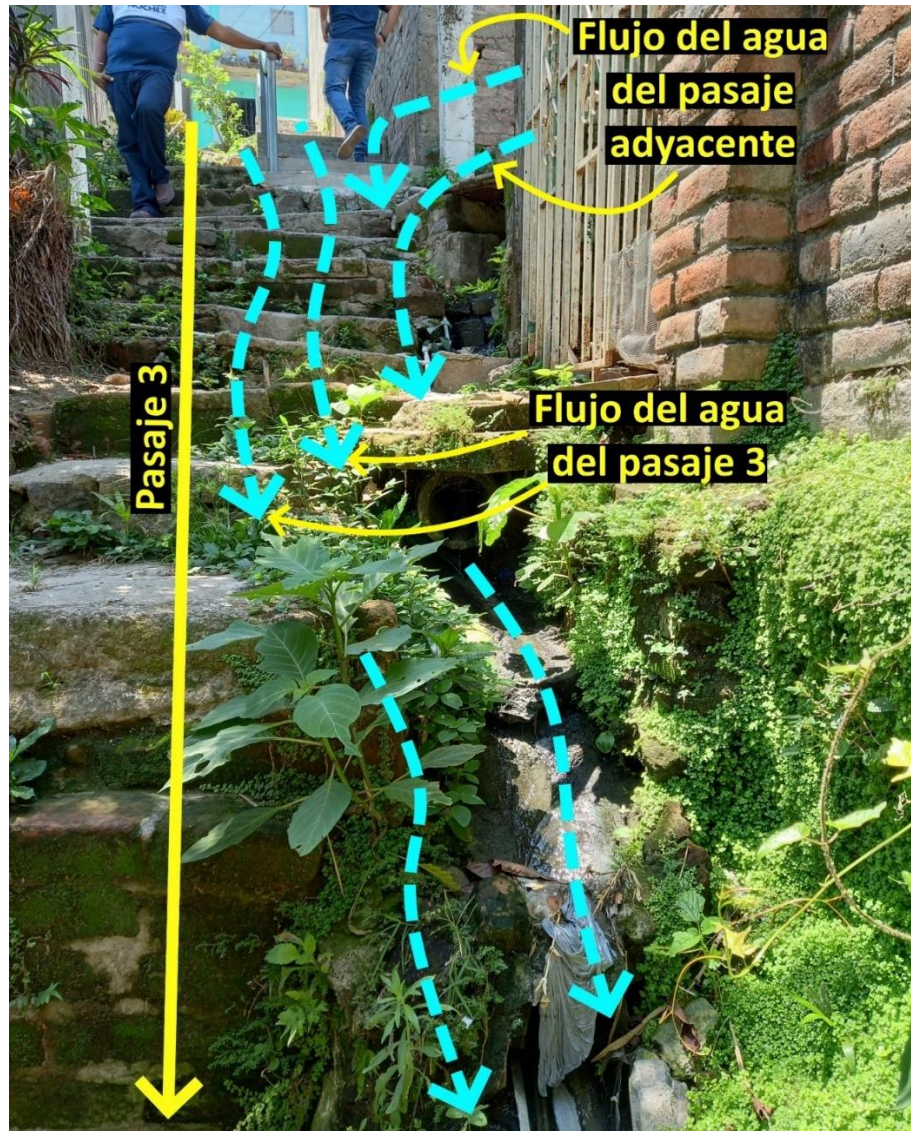
3.3.2 Planteamiento de la problemática

Al final del Pasaje 3 de la Colonia Belgalatea se ha generado una cárcava que ha ido avanzando y aumentando sus dimensiones afectando así a una de las viviendas hasta dejarla inhabitable por la socavación del suelo donde esta cimentada.

El problema ha acelerado debido a que el agua es vertida directamente sobre la ladera, lo que ha propiciado la formación de la cárcava. Esta agua es la que se concentra superficialmente en el Pasaje 3 y desciende por las canaletas de desagüe del pasaje adyacente, ver Fotografías 3.12 y 3.13.



Fotografía 3.12. Dirección del flujo del agua (junio, 2021).



Fotografía 3.13. Confluencia del desagüe del pasaje 3 y el desagüe del pasaje adyacente (junio, 2021).

3.3.3 Ubicación.

3.3.3.1 UBICACIÓN MACRO DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en el municipio de Ayutuxtepeque, en el departamento de San Salvador.



Imagen 3.12. Ubicación general de la zona del proyecto (junio, 2021).

3.3.3.2 UBICACIÓN MICRO DEL PROYECTO

El proyecto para las obras de mitigación está ubicado en la Colonia Belgalatea, al final del Pasaje 3, sus coordenadas de ubicación geográfica son 13°44'17"N, 89°11'49"W

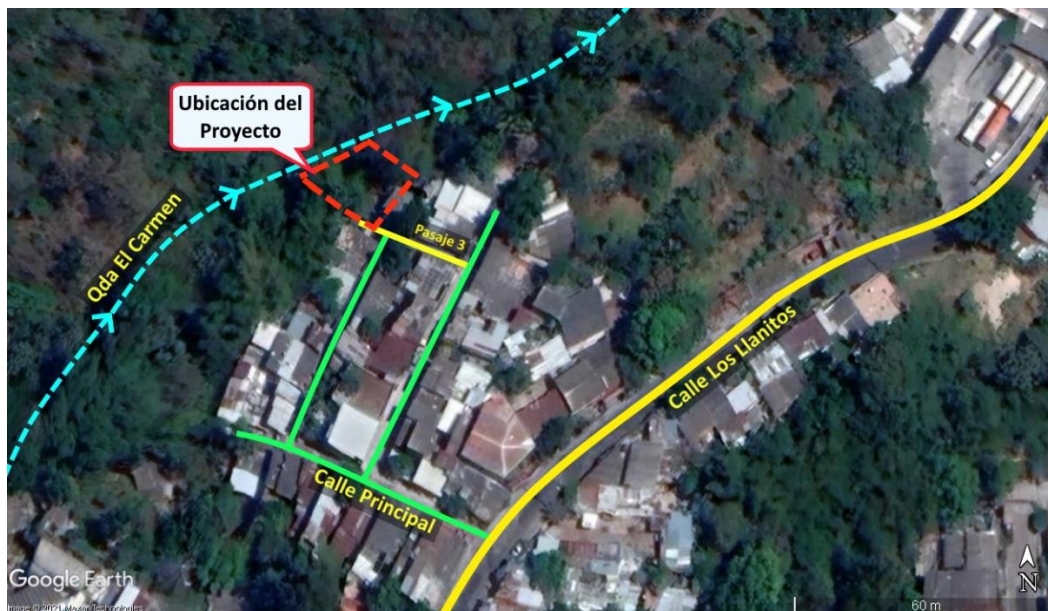


Imagen 3.13. Ubicación en detalle de la zona del proyecto (junio, 2021).

3.3.4 Clasificación de riesgo.

Tabla 3.5. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
Factores Geotécnicos		

Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80
Sumatoria		8.20

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Tabla 3.6. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

La sumatoria es de 8.20 estando en la clasificación de peligro moderado considerando el impacto que produce la corriente de agua que es vertida sobre esta ladera teniendo poca vegetación en la parte superior y un ángulo mayor a 45, esta ladera está constituida por un suelo que es susceptible a la erosión lo que ha provocado la socavación en los cimientos de la vivienda.

3.3.5 Descripción de la propuesta conceptual.

Se recomienda reubicar de manera permanente a los habitantes de la vivienda afectada por la cárcava y proceder a demoler dicha vivienda, de modo de poder realizar los trabajos necesarios para la estabilización en la zona y dejar un área de protección en la corona del nuevo talud a conformar. Realizar una limpieza del terreno, desalojando la basura, escombros, vegetación, raíces y materia orgánica previo al inicio de las obras proyectadas.

Conformar la ladera con una pendiente más baja construyendo en esta una berma ubicada aproximadamente 10 metros del borde, de modo de disminuir el riesgo de deslizamiento del suelo.

Construir una bajante de agua al lado del muro existente al costado poniente al final del Pasaje 3, para que recolecte de manera adecuada toda el agua que circula por este pasaje para que sean vertidas directamente en la quebrada.

Construir una canaleta al borde de la ladera que será intervenida de aproximadamente de 15 metros de longitud, de modo de encauzar el agua hacia la bajante y colocar malla ciclón con esta misma longitud, que sirva de protección para los habitantes de la zona.

Colocar en la parte superior de la ladera concreto lanzado, cubriendo un ancho de 10 metros y una longitud aproximada de 15 metros, lo que

contribuirá con la protección contra la erosión hídrica en la zona; posterior a ésto, construir una canaleta en la berma al lado del área que se ha cubierto con concreto lanzado, que recolecte el agua que baje sobre ésta y que la vierta de manera controlada sobre la bajante.

El área inferior al área a intervenir con concreto lanzado deberá ser revegetada con especies adecuadas al tipo de suelo prevaeciente en el sitio, de modo que las raíces aporten estabilidad superficial al suelo, controlando de esta manera la erosión.

3.3.6 Esquemas de la propuesta conceptual.



Imagen 3.14. Esquema de la formación de la cárcava, vista en planta (junio, 2021).

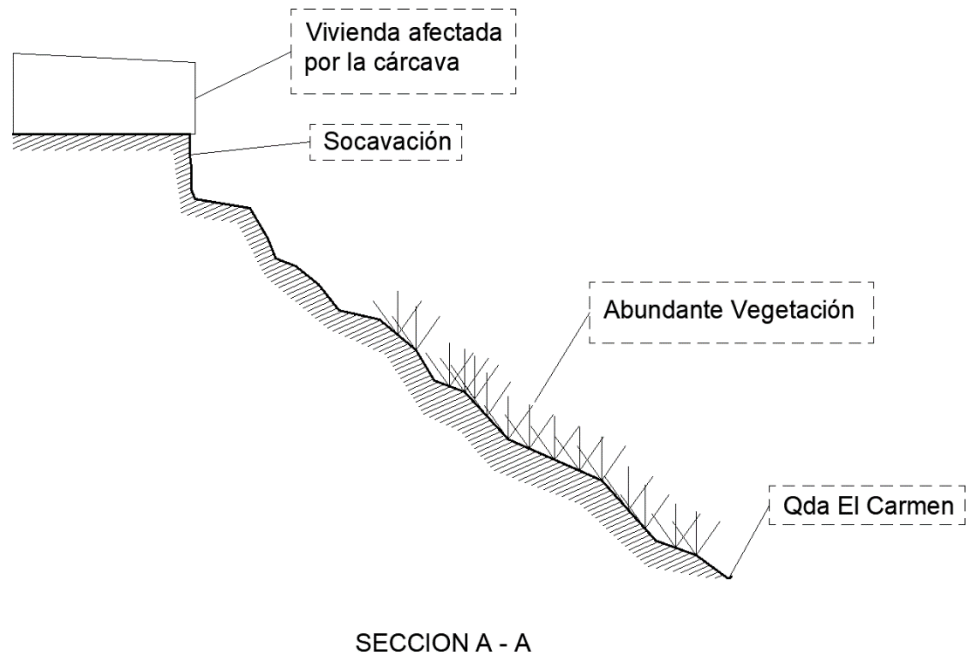


Imagen 3.15. Esquema de la ladera y de la vivienda afectada (junio, 2021).

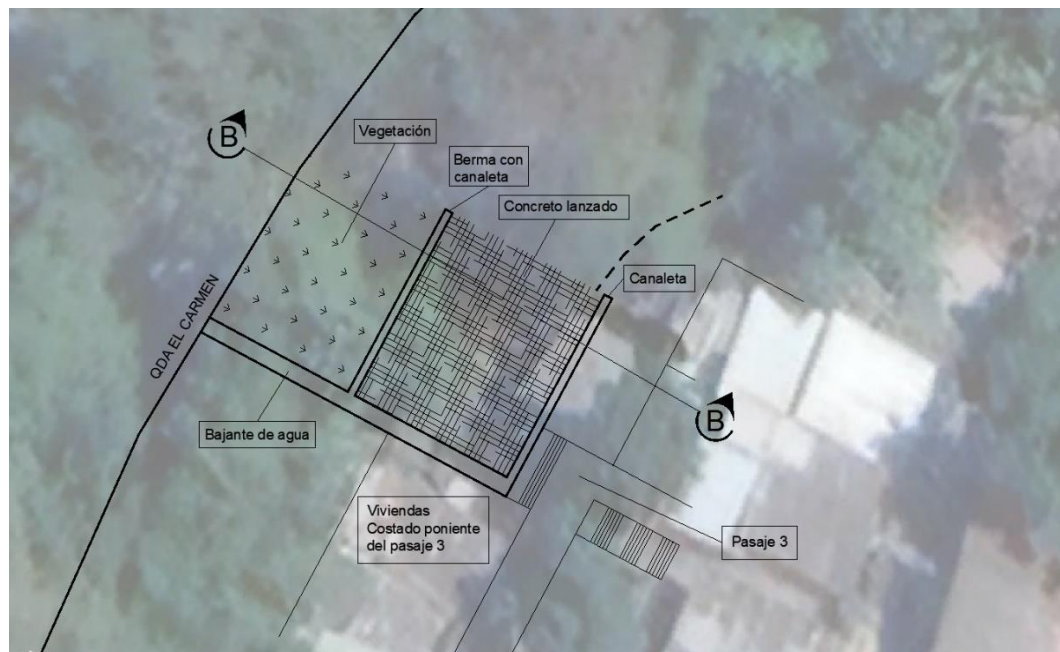
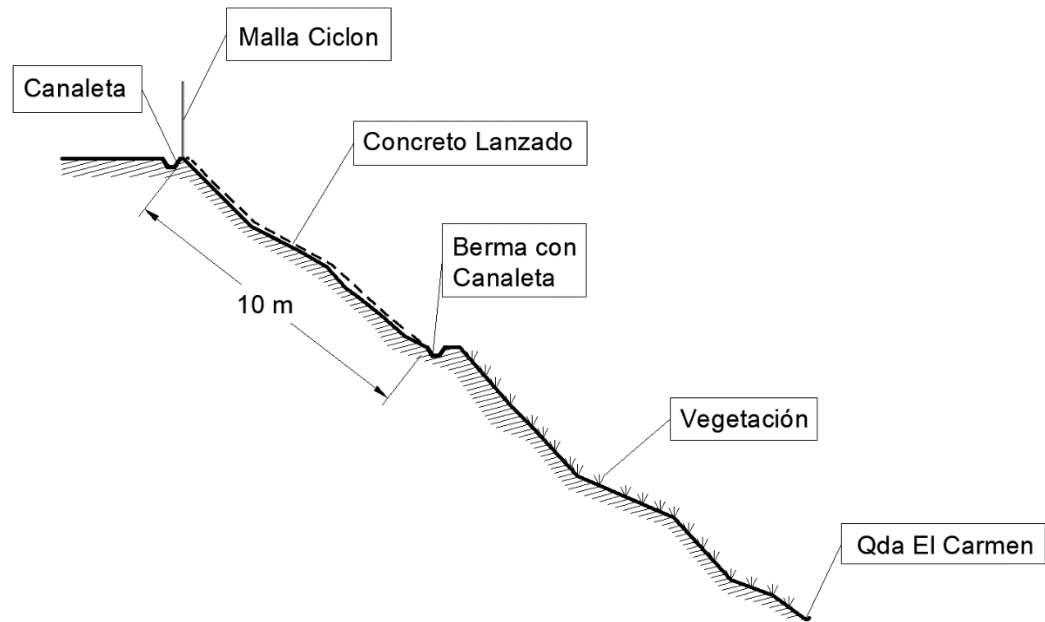


Imagen 3.16. Esquema de las obras para controlar la erosión (junio, 2021).



SECCION B - B

Imagen 3.17. Perfil de ladera con las obras recomendadas para controlar la erosión (junio, 2021).

4.1.2 Observaciones

Se realizó una inspección en la Comunidad Tanque Seco del municipio de Ayutuxtepeque, al costado oriente de la Calle Estocolmo, donde se verificó la existencia de un talud que se eleva verticalmente a una altura variable de 12 a 15 metros aproximadamente, ver Figura 4.2.

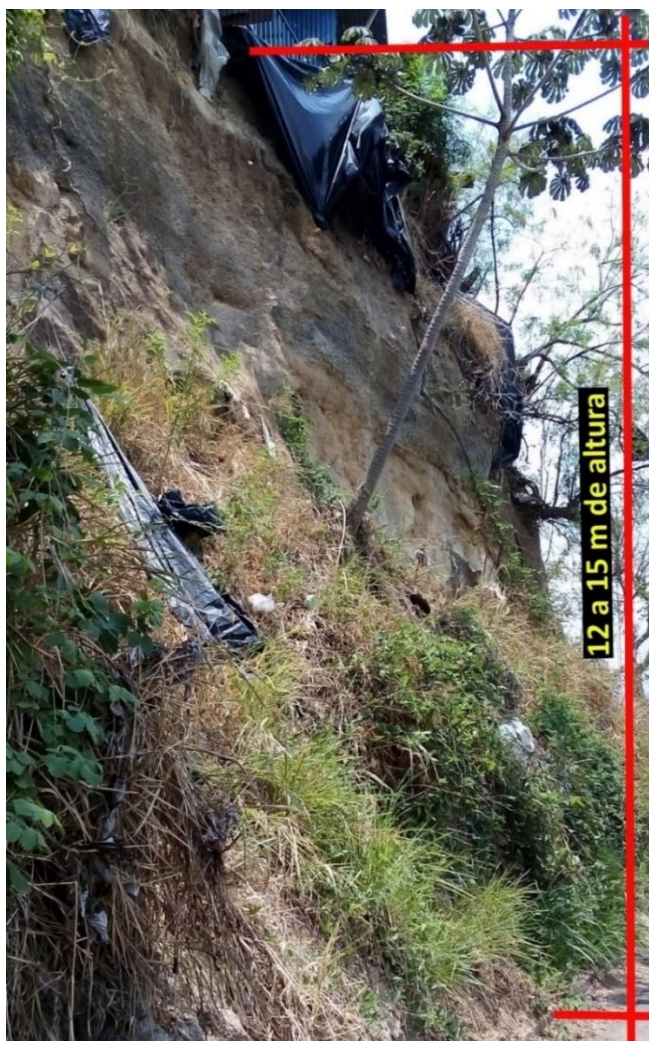


Figura 4.2. Talud vertical, costado oriente de la Calle Estocolmo (agosto, 2021)

Dicho talud está constituido por estratos de suelo que son muy propensos a la erosión bajo la acción del ambiente, como la humedad, cambios de temperatura y movimientos sísmicos. Según lo indicado en el informe previo con REF. MOP-DACGER-SG-009-2019, entre los estratos que componen el talud se puede encontrar una capa superior de materia orgánica, seguida de cascajo y arenas pomíticas, tierra blanca joven y limo, ver Figura 4.3.



Figura 4.3. Estratos que conforman el talud (agosto, 2021).

Sobre la corona del talud se han construido un estimado de 29 viviendas, las cuales se encuentran al borde, debido al avance de la erosión con el tiempo, provocando pequeños derrumbes y poniendo en riesgo la integridad de las viviendas que se encuentran al borde del talud y la seguridad de sus habitantes, ver Fotografía 4.1. Según comentaba el personal de la Alcaldía Municipal de Ayutuxtepeque durante la inspección, las personas que habitan ese lugar no cuentan con títulos de propiedad y a pesar del peligro inminente de un colapso se niegan a abandonar sus viviendas.



Fotografía 4.1. Viviendas existentes al borde de la corona del talud (abril, 2021).

Es de indicar que la superficie del talud no cuenta con vegetación adecuada que pueda contribuir a disminuir el impacto de la erosión, por lo que las únicas medidas de protección que han podido tomar los habitantes de este lugar es la colocación de plásticos para disminuir el impacto de las tormentas, sin embargo, estas medidas no han sido suficientes ya que los plásticos se han deteriorado y se han caído, dejando desprotegido el talud, ver Fotografía 4.1.

Las precipitaciones han contribuido a que en el talud se generen pequeños derrumbes, contribuyendo de esta manera a que el problema avance, dejando las viviendas al borde; en las fotografías 4.2 y 4.3 se puede observar un avance comparativo que se ha tenido del 2019 al 2021, ambas fotografías han sido tomadas del mismo sitio del talud y haciendo una comparación de la fotografía del 2021 respecto de la del 2019, notando que las personas que habitan sobre la corona de dicho talud han continuado construyendo viviendas, además se ha tenido la pérdida de árboles que se encontraban al borde del talud y además, el corte del talud que en el 2019 se observaba vertical y uniforme en el 2021 debido a los desprendimientos de material ya no es uniforme y ha ido avanzando hasta dejar las viviendas justo al borde del talud.



Fotografía 4.2. Fotografía del talud tomada en el 2019 (DACGER, 2019).



Fotografía 4.3. Fotografía del talud tomada en el 2021 (abril, 2021).

4.1.3 Diagnóstico

El talud está constituido por estratos de suelo que son altamente susceptibles a la erosión, además el talud posee una inclinación casi vertical, no cuenta con adecuadas medidas de protección y está siendo afectado por las condiciones climáticas y movimientos sísmicos contribuyendo a que se puedan generar pequeños derrumbes de material.

4.1.4 Recomendaciones

Como medida inmediata ante esta época invernal, se recomienda colocar plástico como medida de protección para evitar que se siga erosionando el suelo y que eso pueda generar el colapso de las viviendas.

Tomando en consideración la situación de alto riesgo prevaleciente en el sector, es necesario evacuar y reubicar a las personas que han construido sus viviendas sobre la corona del talud, pues al avanzar los derrumbes del talud puedan perder sus viviendas y hasta sus propias vidas. Según lo establecido en la normativa nacional se debe garantizar un área de retiro, desde el borde de la corona del talud hasta la primera línea de construcción de viviendas, más aún, considerando los tipos de suelo existentes en la zona.

Adicionalmente es recomendable conformar el talud abatiendo su pendiente para dar más equilibrio a la masa de suelo y construir un sistema de bermas, ver Figura 4.4, para que contribuyan a dar estabilidad al talud y a retener

desprendimientos de material que puedan ocasionarse; así mismo deberá construirse un adecuado sistema de canaletas y bajantes que recojan y evacúen de manera controlada el agua lluvia.

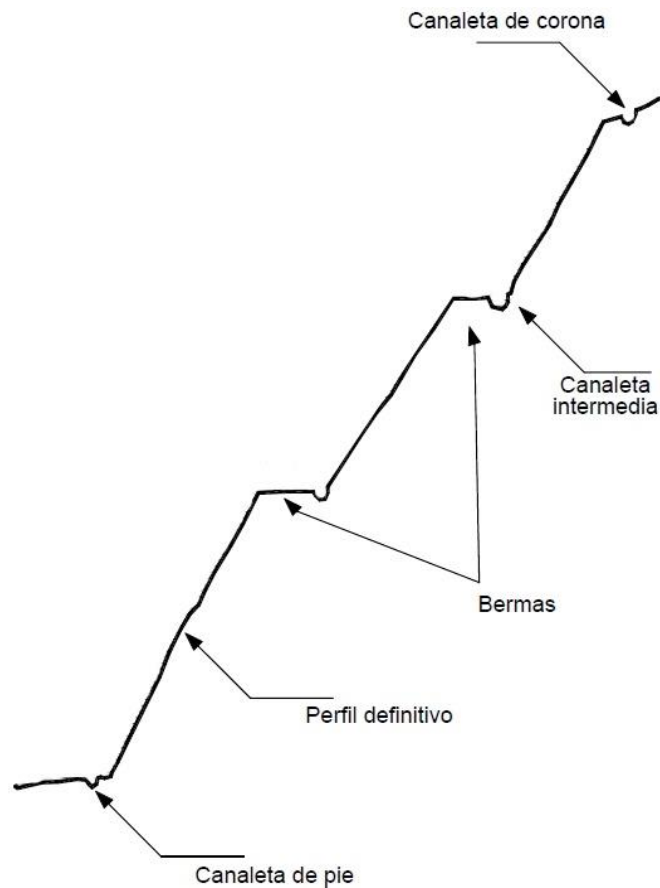


Figura 4.4. Esquema de configuración del talud sugerida, con bermas a cada 5 metros de altura (agosto, 2021).

4.1.5. Clasificación de riesgo.

Tabla 4.1. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.40
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Área deforestada	2.00
Sumatoria		9.50

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla 4.2. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10

5	Peligro muy alto	Más de 10
---	------------------	-----------

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Para este caso la sumatoria de las calificaciones es de 9.50 correspondiendo a una clasificación de peligro alto, tratándose de un talud cuya composición presenta suelos que se reblandecen con el agua, es un área que no cuenta con vegetación que contribuya a disminuir el impacto de la erosión, las viviendas están justo al borde del talud y aunque no se han producido deslizamientos de gran magnitud, pero si se ha producidos pequeños derrumbes de material.

4.2 Colonia Altos de Scandia

4.2.1 Ubicación

Departamento	Municipio	Cantón
San Salvador	Ayutuxtepeque	

- **Dirección:**

Colonia Altos de Scandia, Calle Al Bosque, Block C.

- **Coordenadas Geodésicas:** 13°44'26.20"N 89°12'3.20"W

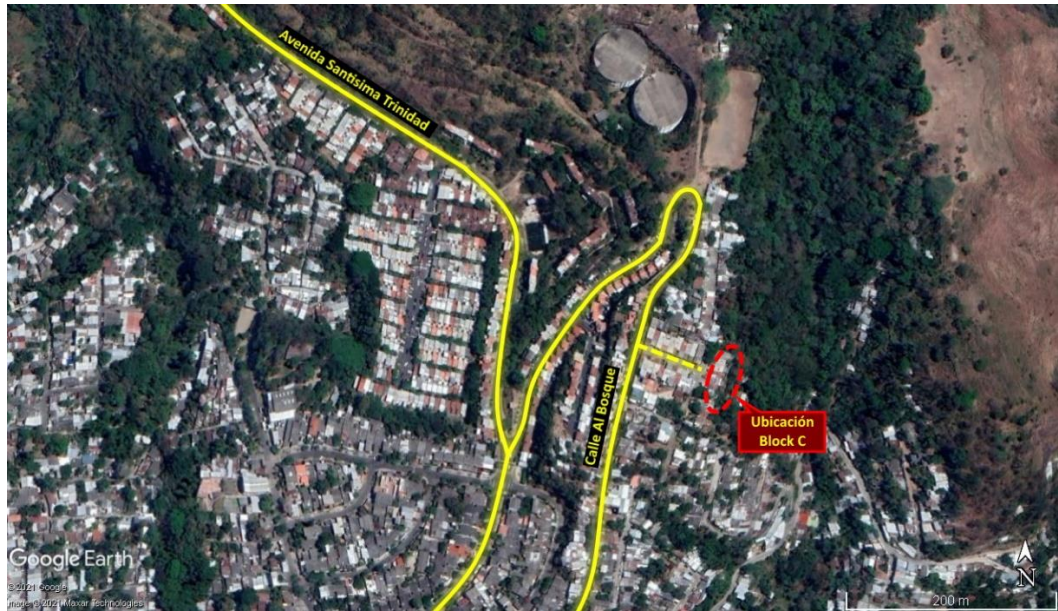


Figura 4.5. Esquema de ubicación general de zona con problemática (septiembre, 2021).

4.2.2 Observaciones

Se realizó una inspección en la Colonia Altos de Scandia donde se identificó que la problemática consiste en el colapso de un tramo de muro de retención existente en el costado oriente del Block C.

Esta colonia tiene aproximadamente 22 años de construcción, y por estar en una zona elevada fue necesario construir un muro de retención para dar mayor estabilidad al suelo donde se cimentaron las 10 viviendas que conforman el Block C; dicho muro es de bloques de concreto y tiene una altura vista de aproximadamente 7 metros.

Durante la inspección uno de los habitantes de este Block manifestó que el problema inició en el año 2001, pues las viviendas se encontraban cerca del borde del talud sin ninguna protección, por lo que se construyó el muro en el año 2010, sin embargo éste se dañó durante un sismo ocurrido en el año 2011 siendo este el motivo por el cual colapsara un tramo del muro, que desde entonces no se ha vuelto a reconstruir, ver Fotografía 4.4.



Fotografía 4.4. Parte del muro de retención que aún se mantiene en pie (abril, 2021).

El tramo que ha colapsado es aproximadamente de 15 metros de longitud, afectando principalmente a las casas número 3, 4 y 5, las cuales han

perdido el confinamiento que el muro proporcionaba al suelo donde éstas están cimentadas.

En la casa número 3 habitaban 3 personas, quienes abandonaron la vivienda por el riesgo que corren por algún derrumbe que se pueda ocasionar, pues estas viviendas están aproximadamente a tres escasos metros del borde. A pocos metros del pie del talud se observan algunas viviendas que, según información de los habitantes de la zona, fueron construidas después de que el muro colapsara, ver Figura 4.6.



Figura 4.6. Viviendas que están cerca del pie del talud (septiembre, 2021).

4.2.3 Diagnóstico

Al realizar la inspección al sitio reportado se pudo observar que el muro fue construido con bloques de concreto de 15 cm de espesor, estimándose que posiblemente el diseño del muro no fue el adecuado en cuanto a las cargas y empujes considerados, o bien, con drenaje transversal insuficiente, ya que no resistió el esfuerzo cortante que generó el movimiento sísmico, propiciando las condiciones de daño y posterior colapso.

4.2.4 Recomendaciones

Es necesario rediseñar y reconstruir el tramo de muro colapsado para proporcionar el adecuado confinamiento del suelo en el sector, evitando el riesgo de un derrumbe que pueda dañar las viviendas.

Al mismo tiempo se debe realizar una evaluación de los tramos de muros que aún están en pie para determinar si es necesario reforzarlos, o bien, mejorar sus condiciones de drenaje transversal.

4.2.5. Clasificación de riesgo.

Tabla 4.3. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80
Sumatoria		8.20

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla 4.4. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10

5	Peligro muy alto	Más de 10
---	------------------	-----------

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Para este caso la sumatoria es de 8.20 correspondiendo a una clasificación de peligro moderado, siendo una zona urbana, aunque se ha registrado el colapso del muro pero no se han dado deslizamientos de suelo, sin embargo las viviendas están a pocos metros del borde, por tratarse de un muro sólo se presenta vegetación moderada en la corona y al pie del muro.

4.3 Colonia Yanet

4.3.1 Ubicación

Departamento	Municipio	Cantón
San Salvador	Ayutuxtepeque	Los Llanitos

- **Dirección:**

Calle Principal Colonia Yanet 2, lote 3, Calle a Los Llanitos

- **Coordenadas Geodésicas:**

13°44'49.13"N 89°11'40.09"W

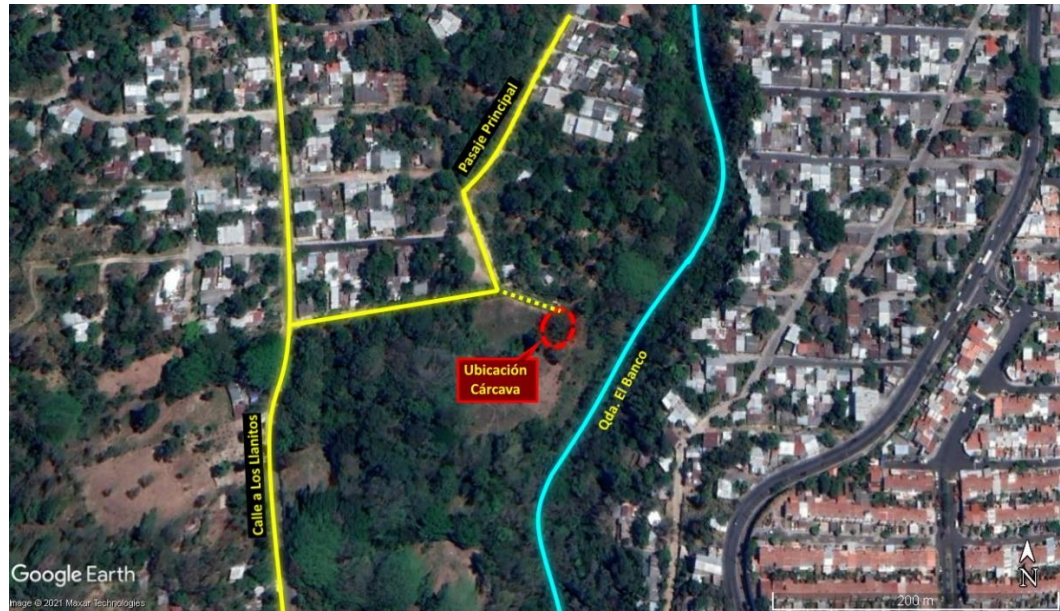


Figura 4.7. Ubicación de la cárcava (septiembre, 2021).

4.3.2 Observaciones

Se realizó una inspección a una cárcava que se ha generado en el Lote 3 de la Colonia Yanet 2, Municipio de Ayutuxtepeque (ver Fotografía 4.5). Según lo relatado por un habitante de esta zona, el problema inició hace 5 años aproximadamente, cuando la Alcaldía Municipal de Ayutuxtepeque introdujo un sistema de tuberías para el drenaje de aguas lluvias como parte de un proyecto, dejando inconclusa la tubería que transporta el agua hacia la Quebrada El Banco; debido a esto, el agua es vertida directamente sobre el terreno, erosionándolo y generando la cárcava que con el tiempo ha ido aumentando sus dimensiones. La quebrada mencionada se encuentra aproximadamente a 50 metros de distancia desde la cárcava.



Fotografía 4.5. Cárcava que se ha generado sobre el terreno (abril, 2021).

Es de indicar que sobre la cárcava no existe vegetación que pueda aportar estabilidad al suelo ni recubrimientos, sin embargo, para mitigar el impacto de la erosión por las lluvias y disminuir el avance de la cárcava, algunas personas han tomado la iniciativa de colocar plásticos. La cárcava tiene 10 metros de profundidad y 15 metros de ancho aproximadamente y afecta el acceso al terreno contiguo, mencionando que si su tamaño continua avanzando, podría poner en riesgo dos viviendas aledañas.

Al borde de la cárcava se encuentra ubicado un poste que sostiene los cables del tendido eléctrico que suministra CAESS, ver Fotografía 4.6.



Fotografía 4.6. Poste de tendido eléctrico al borde de la cárcava (abril, 2021).

Por lo que se pudo observar en el sitio, la cárcava está constituida en los estratos superiores por Tierra Blanca Joven (TBJ), ver Fotografía 4.7, indicando que este tipo de suelos es muy propenso a la erosión superficial en presencia de flujos de agua, sin embargo, es necesario un estudio de suelos para obtener datos de la estratigrafía completa de la misma.



Fotografía 4.7. Presencia de Tierra Blanca Joven en estrato superior de cárcava. Nótese que no posee ningún tipo de recubrimiento o vegetación (abril, 2021).

4.3.3 Diagnóstico

En base a las condiciones observadas en el sitio, se considera que el principal factor que ha propiciado el desarrollo de la cárcava se debe a que la tubería de drenaje de agua lluvia no fue prolongada hasta la quebrada,

sino que el agua es vertida directamente sobre el terreno, lo que genera un alto impacto erosivo en el sector.

Según lo que se puede observar, el terreno sobre el cual se ha generado la cárcava está constituido por Tierra Blanca Joven (TBJ) siendo este suelo muy propenso a la erosión, facilitando que la cárcava haya crecido de forma acelerada.

4.3.4 Recomendaciones

- Se deben realizar estudios técnicos en la zona, consistentes en un levantamiento topográfico para determinar con más detalle las condiciones del relieve del lugar y un estudio de suelos mediante al menos Sondeos de Penetración Estándar (SPT) para tener información más precisa que sirva de insumo para las obras proyectadas.
- Se recomienda la conformación de los taludes de la zona, de modo de proporcionarles una pendiente más estable, se realizará de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de suelos.
- Es necesario colocar vegetación sobre los cortes de talud generados, de modo de que ésta contribuya a dar mayor estabilidad al suelo, disminuyendo el impacto de la erosión.
- Para que el agua se descargue de manera controlada en la quebrada se debe construir un canal, ver Figura 4.8, de modo de evitar que continúe

la erosión hídrica en la zona. Es importante indicar que el diseño de esta obra deberá ser llevado por un ingeniero debidamente acreditado, quien deberá tomar en consideración el caudal actual de descarga para su adecuado desempeño.

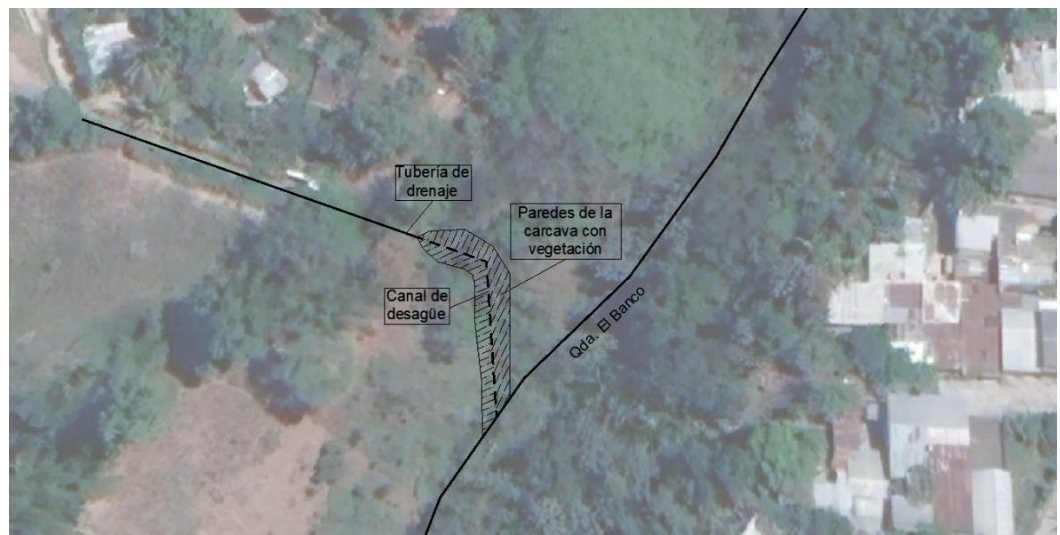


Figura 4.8. Esquema de las obras sugeridas para mitigar la erosión (septiembre, 2021).

Es necesaria la remoción y re-localización del poste del tendido eléctrico existente al borde de la cárcava, ya que actualmente el riesgo por colapso del mismo es alto, pudiendo generar problemas por el corte de las líneas de abastecimiento eléctrico a las viviendas aledañas.

4.3.5. Clasificación de riesgo.

Tabla 4.5. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80
Sumatoria		8.20

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla 4.6. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7

3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.

Tomando en cuenta los factores que se presentan en el lugar, la sumatoria de la calificación es de 8.20 perteneciendo esto a una clasificación de peligro moderado, teniendo la presencia de suelos que se reblandecen con el agua, además de una pendiente que es mayor a 45°, hasta el momento de la inspección no se tenía registro de deslizamientos solamente el impacto gradual que causa la erosión sobre las paredes de la cárcava que ha ocasionado que esta vaya avanzando y aumentando sus dimensiones.

4.4 Colonia Santísima Trinidad

4.4.1 Ubicación

Lugar: Pasajes 6 y 7 del Block E Poniente, Tercera Etapa, Colonia Santísima Trinidad, Municipio de Ayutuxtepeque.



Figura 4.9. Esquema de ubicación general de zona con problemática (septiembre, 2021).

4.4.2 Observaciones

En la ladera ubicada al costado poniente del Block E de la Colonia Santísima Trinidad se verificó la existencia de un problema de erosión, debido a que en esta zona el suelo está constituido por Tierra Blanca Joven, lo que lo hace más susceptible a erosionarse en presencia de flujos de agua.

La ladera cuenta con árboles de gran tamaño, los cuales, debido a la sombra que generan, no han permitido el crecimiento de más plantas para que contribuyan a estabilizar el suelo, ver Fotografía 4.8. Adicionalmente se tiene a bien mencionar que los habitantes de la zona frecuentemente arrojan escombros y basura sobre la ladera, ver Fotografía 4.9, dejando

desprotegido al suelo y evitando que se pueda desarrollar en este sitio la vegetación que pueda ayudar disminuir el impacto de la erosión.



Fotografía 4.8. Vegetación que cubre la ladera (abril, 2021)



Fotografía 4.9. Escombros y basura arrojados sobre la ladera por los habitantes de la zona (abril, 2021).

Paralelo al borde de la ladera se encuentran un estimado de 64 viviendas pertenecientes al Block E, las que se encuentran aproximadamente a una distancia promedio de 12 metros medidos a partir del borde.

La Alcaldía Municipal de Ayutuxtepeque ha iniciado obras para la mitigación de la erosión en la zona, ver Fotografía 4.10, y tiene proyectado intervenir una longitud aproximada de 30 metros, construyendo un muro de retención de 10 metros y en los 20 metros restantes un muro tipo Soil Nailing, ver Figura 4.10.



Fotografía 4.10. Muro de retención en construcción por parte de la Alcaldía Municipal (abril, 2021).

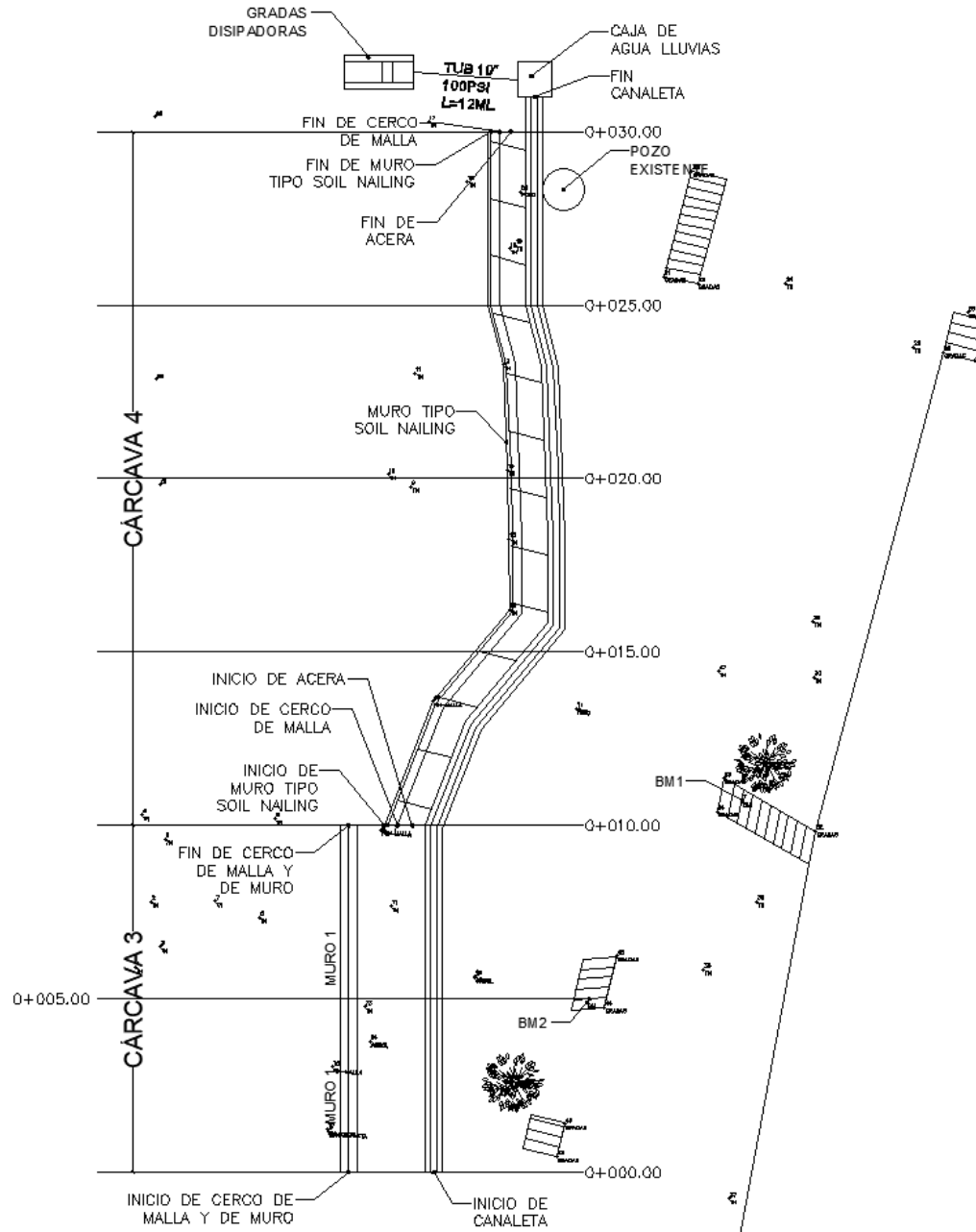


Figura 4.10. Obras a realizarse para mitigar la erosión (Alcaldía Municipal de Ayutuxtepeque, 2021)

4.4.3 Recomendaciones

Se debe podar los árboles para que la sombra no impida que se pueda desarrollar vegetación abundante que contribuya a estabilizar el suelo disminuyendo el impacto de la erosión sobre la ladera.

Dar mantenimiento periódico y limpieza a las canaletas para que estén libres de obstrucciones y puedan evacuar adecuadamente el agua.

Restringir el acceso hacia la ladera para que las personas no puedan arrojar basura o escombros sobre esta. Prohibir que la zona sea utilizada como botadero a cielo abierto.

A modo de garantizar el adecuado funcionamiento durante la vida útil de las obras que están en ejecución por parte de la Alcaldía Municipal de Ayutuxtepeque, según lo mostrado en la Figura 4.10, se recomienda llevar un adecuado control de calidad.

4.4.4. Clasificación de riesgo.

Tabla 4.7. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Calificación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
Altura	Menos de 50 m	0.60
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	2.50
Factores geomorfológicos y ambientales		
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00
	Vegetación moderada	0.80
Sumatoria		8.20

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla 4.8. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5

4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Con una sumatoria de 8.20 correspondiente a una clasificación de peligro moderado con forme a las condiciones presentadas en el lugar donde se cuenta con una pendiente mayor a 45°, con una ladera compuesta con suelo que se reblandecen con el agua, tomando en cuenta que es una zona urbana, sin embargo, las viviendas no corren un inminente peligro por estar aproximadamente a 12 metros de distancia del borde.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El tipo de suelo predominante en la mayoría de las problemáticas que se han inspeccionado ha sido Tierra Blanca Joven (TBJ).
- En estado seco, estos depósitos aparentan estabilidad, pero al entrar en contacto con el agua se vuelven muy inestables.
- El fenómeno de colapso de estos depósitos se incrementa al someterlos a cargas adicionales a su propio peso y es mayor si le sumamos la presencia de agua, por lo que se debe considerar un mecanismo de estabilización para estos suelos al momento de construir sobre ellos.
- En los suelos con grado alto de colapsabilidad, que serán sometidos a solicitaciones de carga de gran magnitud es necesario el diseño de cimentaciones profundas o si es factible la remoción de los mismos.

5.2. Recomendaciones

- Evitar o minimizar el contacto del suelo con el agua en escarpes, taludes o laderas.
- Para disminuir el riesgo de infiltración de agua en el terreno se debe mantener un buen sistema de drenaje y de recubrimiento.
- Utilizar métodos de estabilización mediante inyección de químicos estabilizadores o lechada, las cuales logran una menor infiltración en la estructura del suelo.
- Remover el estrato colapsable, cuando sea posible, en función de su espesor y profundidad.
- Someter los suelos a procesos de compactación, lo cual ayuda, al aumento de la densidad seca, mejorando la resistencia mecánica, reduciendo la permeabilidad y la erosión.
- También se pueden mejorar los suelos modificando su granulometría, esto consiste en mezclar suelos granulares con el suelo del lugar en cuestión y luego compactar.
- Colocación de geomallas como mecanismo de estabilización interna de suelos.
- Todos los trabajos deben estar sustentados en estudios y ensayos de laboratorio.

Bibliografía

- Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica de Riesgo (DACGER), Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA) [2019]. Manual de Consideraciones Geotécnicas y Sísmicas: Taludes
- Berta Molina, Giovanni Pérez, Mauricio Vásquez [2009]. Caracterización geotécnica de las tefras tierra blanca joven: Unidad “G” en la zona proximal y obras de protección.
- Hernández Guevara, E.W. [2004]. Características Geotécnicas y Vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, de Ilopango, El Salvador. Proyecto final presentado para optar al grado de master en tecnologías geológicas en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad Politécnica de El Salvador, San salvador, El salvador.
- Hernández Guevara, E.W. [2006]. Mecanismo de ruptura de taludes en Ignimbritas de tierra Blanca Joven, de Ilopango, El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Misión Geológica Alemana [1967-1971] Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000. San Salvador, El Salvador.

Anexos

Anexo 1. Tablas de factores para clasificación de riesgo.

Tabla A.1. Factores para estimar el peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Factor	Intervalos o Categorías	Puntuación
Factores topográficos e históricos		
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.00
	35° a 45°	1.80
	25° a 35°	1.40
	15° a 25°	1.00
	Menos de 15°	0.50
Altura	Menos de 50 m	0.60
	50 a 100 m	1.20
	100 a 200 m	1.60
	Más de 200 m	2.00
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.30
	Algunos someros	0.40
	Sí, incluso con fechas	0.60
Factores Geotécnicos		
Tipos de suelos y rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0
	Suelos arcillosos consistentes o areno limosos compactos.	0.5 a 1.0

	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc) y tobas competentes.	0.3 a 0.6	
	Rocas igneas sanas (granito, basalto, riolita, etc)	0.2 a 0.4	
	Espesor de la capa de suelos	Menos de 5 m	0.50
		5 a 10 m	1.40
		15 m a 20 m	1.80
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.30
		25 a 35°	0.60
		Más de 45°	0.90
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	Más de 10	0.30
		0 a 10°	0.50
		0°	0.70
		0° a -10°	0.80
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Menos de -10°	1.00
		Más de 30°	0.20
		10° a 20°	0.30
	Menos de 5°	0.50	
Factores geomorfológicos y ambientales			
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en ladera contiguas	Inexistentes	0.00	
	Volúmenes moderados	0.50	
	Grandes volúmenes faltantes	1.00	
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.00	
	Cultivos anuales	1.50	
	Vegetación intensa	0.00	
	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2.00	
	Vegetación moderada	0.80	
	Área deforestada	2.00	
Régimen del agua en la	Nivel freático superficial	1.00	
	Nivel freático inexistente	0.00	

ladera	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.00
Sumatoria		

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla A.2. Estimación del peligro de deslizamiento de talud/ladera.

Estimación del peligro de deslizamiento		
Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Peligro muy bajo	Menos de 5
2	Peligro bajo	5 a menos de 7
3	Peligro moderado	7 a menos de 8.5
4	Peligro alto	8.5 a 10
5	Peligro muy alto	Más de 10

*Fuente: "Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos" del CENAPRED.

Tabla A.3. Grados de amenazas al deslizamiento

Amenaza	Tipo de Talud/Ladera
Muy alta	Talud/Laderas con agrietamientos, escarpas o salientes. Suelos muy alterados, sueltos y / o saturados. Presencia de discontinuidades desfavorables. Antecedentes de deslizamientos en el área o sitio. Talud/Ladera deforestada.
Alta	Talud/Laderas que exhiben zonas de falla. Meteorización de moderada a alta. Posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos. Talud/Ladera deforestada.
Moderada	Talud/Laderas con algunas zonas de fallas. Formaciones rocosas con alteración y agrietamientos moderados. Sin antecedentes de deslizamientos en el sitio o región.
Baja	Talud/Laderas en formaciones rocosas con alteración de baja a moderada. Planos de discontinuidades pocos favorables al deslizamiento. Ladera sin deforestación. Capa de suelos compactos de poco espesor.

Muy baja	Talud/Laderas en formaciones rocosas no alteradas, poco agrietadas o fisuradas. Sin planos de discontinuidad que favorezcan el deslizamiento. Talud/Ladera sin deforestación.
----------	---

*Fuente: “Guía básica para la elaboración del atlas estatales y municipales de peligros y riesgos” del CENAPRED.