

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



**SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE
GRAN TAMAÑO LLAMADAS CÁRCAVAS, EN EL MUNICIPIO DE
ILOPANGO DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

CARLA CECILIA GALDÁMEZ GAVARRETE

ROBERTO ROBINSON NIETO GUEVARA

DIONISIO ISAAC RAMÍREZ ANDRADE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL

:

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO

:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

:

PHD. ING. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE
GRAN TAMAÑO LLAMADAS CÁRCAVAS, EN EL MUNICIPIO DE
ILOPANGO DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR**

Presentado por :

CARLA CECILIA GALDÁMEZ GAVARRETE

ROBERTO ROBINSON NIETO GUEVARA

DIONISIO ISAAC RAMÍREZ ANDRADE

Trabajo de Graduación Aprobado por:

ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR

ING. CARLOS VENTURA MONTENEGRO

San Salvador, Octubre 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR

ING. CARLOS VENTURA MONTENEGRO

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar nuestro trabajo de graduación tan arduo, el cual no hubiese sido posible sin todas aquellas personas e instituciones que han colaborado de alguna u otra manera, para que este llegara a su fin, es un placer utilizar este espacio para expresarles nuestros sinceros agradecimientos.

- En primer lugar agradecemos a **DIOS TODOPODEROSO**, por darnos la fortaleza necesaria para seguir adelante con nuestro Trabajo de Graduación y así permitirnos cumplir nuestra meta.

A nuestros Asesores:

- **Ing. Lesly Emidalia Mendoza Mejía**, por aceptarnos para realizar nuestra tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para dirigir nuestras ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de nuestro trabajo, sino también en nuestra formación como profesionales e investigadores. Su rigurosidad y empeño ha sido la clave del trabajo que hemos realizado. Muchas Gracias Ingeniero.
- **Ing. Edwin Santiago Escobar**, por su disponibilidad, apoyo y tiempo valioso que nos brindó en la elaboración de esta investigación. Nos encontramos altamente agradecidos.
- **Msc. Ing. Carlos Ventura Montenegro**, gracias por compartir su experiencia y amplio conocimiento sobre Cárcavas del área metropolitana de San Salvador, por

sus respuestas asertivas a las inquietudes surgidas durante el desarrollo de nuestro trabajo. Su aporte ha sido invaluable.

De manera especial agradecemos al **Msc. Ing. Luis Pineda**, por su gran aporte y participación en el desarrollo de nuestro trabajo, por compartir sus conocimientos profesionales de manera oportuna, clara y desinteresada.

A nuestros compañeros y amigos: Víctor León, Tania Maltez, Eunice Campos y Alex Pineda que nos apoyaron de una u otra forma en nuestra investigación, Gracias.

A las instituciones, por brindarnos la información técnica necesaria para el desarrollo de nuestra investigación y apoyo logístico en las diferentes visitas de campo.

- Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOPTVDU)
- Alcaldía Municipal de Ilopango

CARLA, ROBINSON Y DIONISIO

DEDICATORIA

Con especial cariño dedico este nuevo triunfo:

A Dios Todo Poderoso, por brindarme sabiduría, protección y guiarme siempre. Por poner en mí camino a las personas y medios necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A mis padres Jorge Alberto Galdámez y Gladis Gavarrete de Galdámez por su apoyo incondicional, por sus consejos y por acompañarme en el perseverar de mis estudios.

A mis hermanos Roberto, Dinora y Jeannette por su apoyo y ayuda en esos momentos que más lo necesitaba.

A mis compañeros de tesis Dionisio Ramírez y Robinson Guevara, porque juntos hemos dado fin y compartimos la alegría de culminar este proyecto.

A mis compañeros, amigos y docentes con quienes tuve la oportunidad de compartir durante todo este tiempo.

CARLA GALDÁMEZ

DEDICATORIA

A DIOS, Por permitirme cumplir este objetivo tan importante en mi vida, a pesar de todas las adversidades que se presentaron.

A MIS PADRES, Catalina del Carmen Guevara y José Roberto Nieto, por apoyarme incondicionalmente en todo momento.

A MIS HERMANOS, Marisol y Williams, por ser partícipes de mi logro académico ayudándome en los momentos que más los necesité.

A MIS COMPAÑEROS, Carla Galdámez y Dionisio Ramírez, por su paciencia, tolerancia y apoyo a lo largo del desarrollo y elaboración de este trabajo de investigación.

A Todas las personas que de una u otra manera han estado conmigo durante la realización de este trabajo de investigación, gracias totales.

ROBINSON GUEVARA

DEDICATORIA

Al finalizar este trabajo de graduación se lo dedico a Dios, quien es el ser más importante en mi vida y a quien le debo el haber llegado hasta este momento, pues sin su dirección, su sabiduría y sustento no hubiera podido.

A mis padres Dionicio Alberto Ramírez y Elena Andrade de Ramírez quienes son mi apoyo incondicional y a quienes agradezco su consejo y sabiduría en los momentos que más lo necesité; a mis hermanos Fabiola, Karen y Vladimir por su apoyo y ayuda, a mi abuelita Cruz Ana Miranda Vda. De Ramírez por haber inculcado en sus hijos y nietos el estudio y la búsqueda de superación personal. A mis tíos Patricia Ramírez y Juan Ramírez, Carolina, Felipe, Héctor y Luis Andrade, Vilma Cañas, por su apoyo durante el transcurso de mi carrera y por ser personas a quienes pude recurrir.

A mis colegas Carla Galdámez y Robinson Guevara por haber sido mis compañeros en este viaje, hasta la culminación del proceso de trabajo de graduación; y por haberse comprometido hasta alcanzar este triunfo.

A mis amigos, no podría mencionar todos sus nombres pero han sido un pilar importante de mi carrera; a mis maestros y compañeros de la Universidad, quienes en el transcurso de mis estudios me brindaron su amistad. A mis pastores Edith y Juan Ángel Castro porque a través de ellos pude recibir dirección, sabiduría y consejo.

A todos ustedes les dedico este trabajo de graduación, y les agradezco grandemente su apoyo, consejo y amistad; sin ustedes no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

DIONISIO RAMÍREZ

ÍNDICE

CAPÍTULO N° I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 ALCANCES	6
1.6 LIMITACIONES	7
1.7 JUSTIFICACIÓN	7

CAPÍTULO N° II: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 EROSIÓN	10
2.3 EROSIONABILIDAD	11
2.4 TIPOS DE EROSIÓN	12
2.4.1 EROSIÓN POR VIENTO O EÓLICA	12
2.4.2 EROSIÓN FLUVIAL	13
2.4.2.1 EROSIÓN POR GOTAS DE LLUVIA	14
2.4.2.2 EROSIÓN LAMINAR	15
2.4.2.3 EROSIÓN EN SURCOS	18
2.4.2.4 EROSIÓN EN TÚNELES SUBSUPERFICIALES	20
2.4.2.5 EROSIÓN INTERNA	22

2.4.2.6	EROSIÓN EN LAS ZANJAS DE CONDUCTOS ENTERRADOS	24
2.4.2.7	EROSIÓN EN CAUCES DE AGUA (LATERAL Y PROFUNDIZACIÓN)	24
2.4.2.8	EROSIÓN EN MASA (DESLIZAMIENTOS)	25
2.4.2.9	EROSIÓN EN CÁRCAVAS	25
2.4.2.9.1	PROCESO DE CARCAVAMIENTO	28
2.4.2.9.2	TIPOS DE CÁRCAVAS.....	30
2.4.2.9.3	CLASIFICACIÓN DE CÁRCAVAS.....	34
2.4.2.9.4	CAUSAS DE LA FORMACIÓN DE CÁRCAVAS.....	35
2.4.3	OTROS TIPOS DE EROSIÓN	37
2.5	MECANISMOS DE EROSIÓN	38
2.5.1	CORROSIÓN O ABRASIÓN.....	39
2.5.2	DISOLUCIÓN	39
2.5.3	FRICCIÓN HIDRÁULICA.....	40
2.5.4	FUERZAS DE EROSIÓN	42
2.6	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	43
2.6.1	CICLO HIDROLÓGICO	44
2.6.2	PRECIPITACIÓN.....	46
2.6.3	DEFINICIÓN DE CUENCA Y CAUDAL.....	48
2.6.3.1	CUENCA	48
2.6.3.2	CAUDAL	49
2.6.4	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	50
2.7	GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS VOLCÁNICOS.....	53
2.7.1	GEOLOGÍA TÍPICA DE UN CONO VOLCÁNICO.....	53
2.7.1.1	MATERIALES QUE CONFORMAN LOS CONOS DE LOS VOLCANES.....	53
2.7.2	ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS.....	55
2.7.2.1	RIOLITA	56
2.7.2.2	TOBAS.....	56

2.7.2.3	ANDESITA	56
2.7.2.4	BASALTO	56
2.7.3	ESTRATIGRAFÍA DE DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DEL AMSS.....	57
2.7.4	SECTORES GEOLÓGICOS	57
2.7.4.1	ZONA PICACHO	59
2.7.4.2	ZONA BOQUERÓN	59
2.7.4.3	ZONA DEL BÁLSAMO	60
2.7.4.4	CALDERA DE ILOPANGO	61
2.8	COMPORTAMIENTO SÍSMICO	62
2.9	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO	63
2.9.1	SUSCEPTIBILIDAD DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS A LOS DESLIZAMIENTOS	64
2.10	MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE CÁRCAVAS.....	66
2.10.1	MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍAS	66
2.10.1.1	DRENAJE SUPERFICIAL.....	67
2.10.1.2	CAUDAL DE ESCORRENTÍA.....	67
2.10.1.3	TIPOS DE CANALES	68
2.10.1.3.1	CANALES DESVIADORES DEL FLUJO ARRIBA DEL TALUD	68
2.10.1.3.2	DIQUES EN LA CORONA DEL TALUD.....	70
2.10.1.3.3	CANALES INTERCEPTORES O CORTACORRIENTES.....	70
2.10.1.4	DISEÑOS DE CANALES.....	72
2.10.1.5	CANALES COLECTORES O DISIPADORES	73
2.10.1.5.1	EL CANAL RÁPIDO.....	73
2.10.1.5.2	ESTRUCTURA EN GRADERÍA (DERRAMADEROS).....	75
2.10.1.6	SUBDRENAJES.....	77
2.10.2	OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN EN EL CUERPO DE LA CÁRCAVA.....	78
2.10.2.1	DISEÑO DE TALUDES Y BERMAS.....	78

2.10.2.1.1	PENDIENTE DEL TALUD	78
2.10.2.1.2	BERMAS INTERMEDIAS	79
2.10.2.1.3	CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE BERMAS Y PENDIENTES	80
2.10.2.2	MUROS DE CONTENCIÓN Y ANCLAJES	82
2.10.2.2.1	DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN.....	82
2.10.2.2.2	MUROS MASIVOS RÍGIDOS.....	85
2.10.2.2.3	MUROS MASIVOS FLEXIBLES	87
2.10.2.2.4	TIERRA REFORZADA.....	89
2.10.2.2.5	ESTRUCTURAS ANCLADAS.....	91
2.10.2.2.6	SISTEMA SOIL NAILING	92
2.10.3	PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE	94
2.10.3.1	GEOSINTÉTICOS.....	94
2.10.3.1.1	BIOMANTAS.....	95
2.10.3.1.2	GEOMANTAS	96
2.10.3.1.3	GEOCELDAS O GEOCÉLULAS.....	97
2.10.3.2	CONCRETO LANZADO	98
2.10.3.3	VEGETACIÓN.....	100
2.10.3.3.1	EFFECTOS HIDROLÓGICOS.....	100
2.10.3.3.2	EFFECTOS HIDRÁULICOS	104

CAPÍTULO N° III: CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

3.1	INTRODUCCIÓN	107
3.2	GENERALIDADES DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	107

3.3 TOPOGRAFÍA.....	113
3.4 GEOLOGÍA.....	118
3.5 GEOTECNIA.....	126
3.5.1 ROTURA POR PÉRDIDA DE COHESIÓN.....	126
3.5.2 PROCESO DE EXFOLIACIÓN	128
3.6 CARACTERÍSTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS.....	131
3.6.1 PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA EN ESTUDIO	132
3.6.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS DE LA CUENCA.....	133
3.7 HIDROLOGÍA	134
3.8 FACTORES ANTRÓPICOS.....	139

CAPÍTULO N° IV: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE CÁRCAVAS

4.1 INTRODUCCIÓN	148
4.2 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CÁRCAVAS	149
4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FICHA TÉCNICA	150
4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CAMPO.....	158
4.4 EVALUACIÓN DE LAS CÁRCAVAS	175
4.4.1 PRIORIZACIÓN DE CÁRCAVAS A REMEDIAR	179

CAPÍTULO N° V: ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES TÉCNICAS A CÁRCAVAS

5.1 INTRODUCCIÓN	185
5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CÁRCAVA	186

5.3 ESTUDIOS BÁSICOS PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES PRESENTES EN LA CÁRCAVA.....	187
5.3.1 ANTECEDENTE Y DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA AFECTADA:.....	187
5.3.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	188
5.3.3 ESTUDIO DE SUELOS.....	188
5.3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	189
5.3.5 ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	190
5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CÁRCAVA.....	190
5.4.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.....	190
5.4.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS.....	196
5.4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....	199
5.4.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	212
5.5 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	215
5.5.1 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1.....	216
5.5.1.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	218
5.5.1.2 PROTECCIÓN SUPERFICIAL EN TALUDES.....	233
5.5.1.3 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS.....	237
5.5.1.4 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS).....	242
5.5.1.5 OBRAS DE CONTENCIÓN.....	247
5.5.1.6 OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	257
5.5.2 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2.....	259
5.5.2.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	261
5.5.2.2 PROTECCION SUPERFICIAL EN TALUDES.....	263
5.5.2.3 POZO DE INSPECCIÓN O DE VISITAS DE AGUAS LLUVIAS.....	265
5.5.2.4 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS.....	276
5.5.2.5 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS).....	276
5.5.2.6 MURO SOIL NAILING.....	277
5.5.2.7 OBRAS DE CONTENCIÓN.....	300
5.5.2.8 OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	306

5.5.3 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3.....	308
5.5.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	309
5.5.3.2 PROTECCIÓN SUPERFICIAL EN TALUDES.....	312
5.5.3.3 POZOS DE INSPECCIÓN O DE VISITA DE AGUAS LLUVIAS.....	312
5.5.3.4 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS.....	313
5.5.3.5 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS).....	315
5.5.3.6 OBRA DE CONTENCIÓN	316
5.5.3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	322

CAPÍTULO N° VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES	326
6.2 RECOMENDACIONES	329

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 333

ANEXOS:..... 336

ANEXO N°1: MAPA 3.1, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, HIDROLOGÍA BASE	337
ANEXO N°2: MAPA 3.2, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, TOPOGRAFÍA.....	339
ANEXO N°3: MAPA 3.3, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, GEOLOGÍA	341
ANEXO N°4: MAPA 3.4, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, VULNERABILIDAD A LA EROSIÓN	343
ANEXO N°5: MAPA 3.5, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, ÁREA URBANA	345
ANEXO N°6: FORMATO DE FICHA UTILIZADA EN EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CÁRCAVAS.....	347
ANEXO N°7: FICHAS LLENAS DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS CÁRCAVAS VISITADAS	351
ANEXO N°8: PLANOS DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1	395
ANEXO N°9: PLANOS DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2	403
ANEXO N°10: PLANOS DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3	410

RESUMEN

Las Cárcavas en El Salvador se han originado naturalmente a lo largo de su historia, en la mayoría de casos es un proceso lento que permite tomar medidas para contrarrestarlo; sin embargo, debido a la expansión urbanística en zonas vulnerables a la erosión, ha generado que en los últimos años su ocurrencia en el país se haya incrementado de manera alarmante, además fenómenos climatológicos con niveles históricos en intensidad y duración, aportan a que el problema de Cárcavas se acelere. Todo ello contribuye a que suelos de naturaleza erosiva representen un riesgo a comunidades enteras.

De aquí nace la necesidad de encontrar propuestas de soluciones técnicas y factibles para socavaciones de gran tamaño, por lo que el presente Trabajo de Graduación titulado: SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO LLAMADAS CÁRCAVAS, EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR, se desarrolló como un estudio que aporte en la búsqueda de soluciones a la problemática de Cárcavas que actualmente se encuentra afectando a nuestra sociedad, a través de la investigación de las causas que producen este fenómeno, el proceso que lo extiende, las características de los sitios afectados y medidas de control y protección, entre otros.

En primer lugar en el presente trabajo, se aborda de manera general la problemática de las Cárcavas en el Área Metropolitana de San Salvador; y es que El Salvador, según diferentes informes de organizaciones internacionales, está ubicado entre los países más vulnerables al impacto climático a nivel mundial, esto ha quedado evidenciado por los eventos ocurridos que han afectado enormemente al país en los últimos años, generando como consecuencia daños en la infraestructura vial y de vivienda, pérdidas en las cosechas y en algunos casos pérdida de vidas humanas.

Se investigaron las causas que contribuyen al origen de las Cárcavas, para comprender el efecto sobre el entorno que afectan, y así buscar las soluciones adecuadas a esta problemática. Para ello se exponen los conceptos básicos que ayudan a comprender el fenómeno de la Erosión.

Posteriormente se fijó una zona en estudio, dentro del Área Metropolitana de San Salvador, en la cual se centra nuestra investigación con el objetivo de determinar las diferentes características que presenta la zona y así entender el fenómeno de erosión en Cárcavas. El área de estudio fue determinada de acuerdo al sector de mayor densidad de casos registrados, donde hay mayor cantidad de población afectada y que el problema puede continuar generándose a futuro si no se contrarresta de manera oportuna y adecuada, esta es el zona oriental del Área Metropolitana de San Salvador, siendo el municipio de Ilopango el que presenta los casos más extraordinarios de erosión en Cárcavas. Puesto que las Cárcavas están integradas a cuencas hidrográficas, se estudió la que mayor efecto tiene sobre el municipio de Ilopango, esta es la cuenca alta del río Las Cañas, en esta cuenca, se estudiaron las características topográficas, geológicas, hidrológicas, de uso de suelos y de vulnerabilidad de la erosión, y su relación con los sitios que presentan erosión por Cárcavas.

Se realizaron visitas de campo para constatar el estado en que se encuentra la zona en estudio, en total se visitaron 12 Cárcavas las cuales se estudiaron para conocer sus características y condiciones físicas, a través de un sistema de análisis, esto para determinar la magnitud del deterioro por el avance de la erosión en cada Cárcava. Además sirvió como base para poder proponer una metodología de evaluación y priorización de Cárcavas, en función de las características que éstas presentan al momento de la visita, con la finalidad de ponderar el grado de deterioro de cada una de ellas, siendo máximo el valor más desfavorable; posteriormente poder priorizar y

determinar cuáles requieren intervención inmediata, a corto y mediano plazo. Para ello fue necesario realizar levantamientos de información en campo, entrevistas con pobladores afectados por el fenómeno y personas expertas del tema, quienes brindaron información de cada problema en particular. Se realizó una “Ficha de Levantamiento de Información sobre Cárcavas” para obtener la información necesaria de cada Cárcava visitada.

Se determinaron tres alternativas de solución, que se les puede implementar al problema de carcavamiento, utilizando una Cárcava tipo la cual se encuentra en un estado crítico y avanzado; caracterizada con las particularidades que presenta el problema de erosión en Cárcavas en la zona en estudio. Fue necesario realizar una serie de actividades para determinar las características topográficas, geotécnicas, geológicas, hidrológicas e hidráulicas con las cuales se definieron las condiciones en las que se encuentra la Cárcava.

Las propuestas de soluciones planteadas comprenden diseños conceptuales, limitándose a profundizar en detalles constructivos con los que se deben contar al momento de ejecutar las obras de solución.

Además se realizaron conclusiones en base a los resultados del análisis de esta investigación y se proponen recomendaciones con el fin minimizar en el futuro el surgimiento de la problemática de las Cárcavas.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Salvador, según diferentes informes de organizaciones internacionales está ubicado entre los países más vulnerables al impacto climático a nivel mundial, esto ha quedado evidenciado, por los eventos ocurridos en los últimos años que han afectado enormemente al país, generando como consecuencia daños en la infraestructura vial y de vivienda, pérdidas en las cosechas y en algunos casos pérdida de vidas humanas.

San Salvador y su área metropolitana se ven afectadas constantemente por eventos hidrometeorológicos extraordinarios que desencadenan desastres como inundaciones, deslizamientos y Cárcavas, entre otros. En el tema de problemas de procesos de erosión en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), los municipios más vulnerables a presentar estas situaciones son los ubicados al oriente: Ilopango, Soyapango, San Martín y Tonacatepeque, dadas sus características topográficas y geológicas, por el tipo de suelo volcánico depositado procedente de las violentas erupciones de la caldera de Ilopango. Junto a esto se tienen asentamientos humanos en los márgenes de quebradas y ríos, al interior de sus zonas de protección, en donde no ha habido un desarrollo planificado, aumentando el riesgo de presentar algún desastre, entre ellos deslizamientos e inundaciones.

Siendo Ilopango el objeto de estudio de este trabajo de investigación, por ser uno de los municipios más vulnerables a la erosión por Cárcavas, se analizaron sus características físicas a través de la recolección de datos de campo de sitios con esta problemática, para lo cual se desarrolló una metodología para la recolección, análisis, evaluación y priorización de los sitios visitados.

En el transcurso de este trabajo se propondrá el diseño de tres alternativas de solución a una Cárcava tipo, previamente se desarrollarán sus estudios básicos de las

características topográficas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas, que son necesarios para la realización de las propuestas de solución. Para ello es necesario conocer un factor clave como es la erosión y su mecanismo de desarrollo.

1.2 ANTECEDENTES

Las Cárcavas son socavaciones progresivas que se forman en los materiales blandos, como consecuencia del paso de flujo hídrico superficial o subterráneo, que a falta de una cobertura vegetal suficiente, atacan las pendientes de los suelos, excavando largos surcos de bordes vivos, llegando a convertirse en la máxima expresión de la erosión.

En el AMSS el fenómeno de las Cárcavas no es nuevo, sin embargo, se ha agudizado en los últimos años debido a la expansión urbanística no planificada como consecuencia de una alta demanda de espacios habitables, daños en el sistema de los drenajes especialmente en descargas resultado de la falta de diseños adecuados y mantenimiento de las obras, características geológicas y geotécnicas del suelo e influencia de lluvias intensas y prolongadas (Mitch,1998; Stan,2005; Félix,2007; Ida,2009; Ágatha,2010; Álex,2010).

En la actualidad se han identificado numerosos casos de afectación de Cárcavas a nivel nacional, con un alto porcentaje al oriente del Área Metropolitana de San Salvador, específicamente en los municipios de Ilopango, Soyapango, San Martín y el sur de la ciudad de San Salvador.

El Municipio de Ilopango, está situado sobre cenizas volcánicas jóvenes (que son susceptibles a la erosión) procedentes de erupciones volcánicas del ahora lago de Ilopango, con espesores que alcanzan hasta decenas de metros; por esta razón es que

en este municipio se han originado los casos más extraordinarios de erosión en Cárcavas, tal como se ha presentado en el reparto Las Cañas y colonia Llano Verde.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de San Salvador y la mayor parte de su Área Metropolitana se asienta en una zona muy vulnerable a desastres, dadas sus características geológicas, topográficas, hidrológicas, y la escasa o nula existencia de políticas de gestión de riesgo para la prevención de desastres; así como también la falta de aplicación y verificación de leyes de ordenamiento territorial que regulen la existencia de asentamientos humanos en zonas susceptibles o frágiles; los anteriores han sido factores que inciden en la formación de erosiones y desprendimientos de materiales en taludes; por lo que se ha originado una gran demanda de estudios de Ingeniería en diferentes disciplinas para poder encontrar soluciones a estos problemas, de otra manera muchas zonas urbanizadas seguirán deteriorándose.

La ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos incrementa el riesgo por erosión y deslizamiento en suelos poco consolidados. Actualmente se han generado numerosas Cárcavas en el Área Metropolitana de San Salvador, siendo casos relevantes, los sucedidos en las urbanizaciones Llano Verde y Las Cañas. Por tal motivo, surge la necesidad de encontrar metodologías, que deban tomarse en cuenta, para proporcionar soluciones técnicas a Cárcavas, considerando las causas y los efectos producidos en el tiempo.

El presente estudio se realizará dentro del municipio de Ilopango, tomando como modelo una Cárcava tipo, analizando su geología, hidrología, drenajes existentes y topografía, de esta manera se propondrán tres alternativas de solución, a partir de las

características que presenta, y proporcionar recomendaciones para que el impacto de este fenómeno se minimice en el futuro.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer alternativas de soluciones técnicas a problemas de socavación de gran tamaño llamadas Cárcavas, en el municipio de Ilopango departamento de San Salvador, identificando causas que las originan y los factores que inciden en su desarrollo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores que influyen en el origen y desarrollo de la erosión en Cárcavas.
- Investigar los mecanismos que tienen lugar en la erosión.
- Establecer una zona en estudio en el municipio de Ilopango para ser analizada.
- Investigar las características topográficas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas y antrópicas que presenta la zona en estudio.
- Realizar levantamientos de información en campo en sitios con problemas de Cárcavas dentro de la zona en estudio.

- Establecer una metodología de análisis, evaluación y priorización a desarrollar para el estudio de la erosión en Cárcavas.
- Identificar las zonas dentro del área en estudio, en las que se han desarrollado Cárcavas.
- Analizar una Cárcava tipo que presente las características de la zona en estudio.
- Realizar los estudios básicos que servirán para la determinación de las características geológicas, geotécnicas, topográficas hidrológicas e hidráulicas de la Cárcava en estudio.
- Proponer tres alternativas de soluciones técnicas a la Cárcava en estudio en base a las características presentadas.
- Proponer recomendaciones para evitar el surgimiento de Cárcavas en base al trabajo de investigación realizado.

1.5 ALCANCES

- Para la realización del presente trabajo de graduación se pretende abarcar solamente problemas erosión conocidos como Cárcavas, enfocándonos en el municipio de Ilopango del departamento de San Salvador, por ser uno de los municipios más afectados por Cárcavas y en donde se dan los casos más extraordinarios de erosión que afectan a comunidades.
- Las propuestas de las alternativas de soluciones técnicas para el problema de socavación de gran tamaño llamadas Cárcavas, se harán en base a las

condiciones prevalecientes del área en estudio; no obstante, se propondrán soluciones con diseños conceptuales aplicables a la mayoría de los casos.

- Proponer recomendaciones para que se minimice en el futuro el surgimiento de la problemática de las Cárcavas.

1.6 LIMITACIONES

- Existen diversas zonas en el país y dentro del Área Metropolitana de San Salvador que presentan erosión en Cárcavas; no obstante, el presente trabajo de graduación se enfocará en el municipio de Ilopango ubicado en el departamento de San Salvador.
- Existen diversas soluciones técnicas al problema de Cárcavas a nivel mundial, sin embargo nuestro trabajo de graduación se limitará a proponer tres alternativas soluciones a la Cárcava tipo analizada, considerando la tecnología y mano de obra disponible en el país.

1.7 JUSTIFICACIÓN

Las Cárcavas en El Salvador se han originado naturalmente a lo largo de su historia, en la mayoría de casos es un proceso hasta imperceptible por la baja velocidad de erosión que toma; sin embargo, debido al crecimiento poblacional y su correspondiente expansión urbanística en zonas vulnerables a la erosión, han generado que en los últimos años, su ocurrencia en el país se haya incrementado de manera alarmante; además fenómenos climatológicos con niveles históricos en intensidad y duración que afectan más frecuentemente al país, aportan a que el problema de

Cárcavas se acelere. Todo ello contribuye a que suelos de naturaleza erosiva representen un riesgo a comunidades enteras.

Más del 80 por ciento de la totalidad de las Cárcavas del país se ubica en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), situación que concuerda con el informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que determinó que el 95 por ciento de la población salvadoreña reside en zonas consideradas de alto riesgo.

De aquí nace la necesidad de encontrar propuestas de soluciones prácticas y factibles para socavaciones de gran tamaño, por lo que nuestro trabajo de graduación pretende ser de ayuda en la búsqueda de soluciones a problemas de Cárcavas y en lo que respecta al conocimiento del proceso de su formación, las causas que originan este fenómeno y las que aceleran su crecimiento. Así también, se pretende dar recomendaciones para minimizar esta problemática; que es de interés social y que pone en riesgo a muchas personas por la pérdida de la infraestructura circundante.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En el estudio del proceso de formación de Cárcavas, es necesario investigar cada una de las causas que contribuyen al origen de este tipo de erosión, de esta manera el efecto sobre el entorno al cual alteran puede ser comprendido, y a la vez aporta datos importantes en la búsqueda de soluciones a esta problemática.

Inicialmente es necesario conocer el proceso de erosión natural, que es el resultado de la acción de las fuerzas de fricción de gases o fluidos en movimiento con el suelo, en el país el principal fluido en movimiento erosionante proviene de la precipitación, la escorrentía y los drenajes, cuyos efectos erosivos en el suelo son mucho más notables que los producidos por flujos de aire. El Suelo dependiendo de sus características físicas y mecánicas como cohesión, humedad y otros, harán que su grado de resistencia sea alto o no a tales procesos de erosión. Asimismo, los factores antrópicos, como urbanizaciones, falta de planificación en obras en el desarrollo urbano y de mitigación, leyes que no son respetadas y la falta de políticas de obras a colectores primarios, han tomado mayor relevancia en la formación de socavaciones de gran tamaño en los últimos años. A continuación se describe en el Marco Teórico, la erosión como tal, los mecanismos en los cuales tiene su desarrollo, los tipos más importantes de erosión que luego terminan en formación de Cárcavas y los factores que inciden en el desarrollo del proceso.

2.2 EROSIÓN

La erosión es un proceso natural, en el que se produce desprendimiento de partículas de las superficies de rocas o suelos debido a la meteorización por falta de protección superficial, éstas se incorporan a un agente dinámico como el agua o el

viento y a través de ellos se transportan (o arrastran) las partículas hasta su posterior depósito de materiales, en un sitio diferente al de su procedencia.

La erosión es uno de los principales actores del ciclo geográfico, este último, es un proceso que consiste en reducir hasta el nivel del mar, el relieve de una determinada zona elevada.

2.3 EROSIONABILIDAD

La erosionabilidad conocida también como erodabilidad, es la susceptibilidad o facilidad con que un suelo es desprendido y transportado por fenómenos erosivos¹.

El problema que se da en la erosión es de fuerzas en la superficie del suelo y no de corte profundo, donde influyen principalmente la geometría y la localización de las partículas, estas últimas si se encuentran en la superficie están expuestas a fuerzas netas menores que las que están debajo de la superficie; cuando existe orientación de la partícula, la erosión es mucho menor. El inicio del movimiento de una partícula de suelo por la acción hidráulica se define como el momento en el cual las fuerzas generadas por el fluido arrancan y levantan la partícula produciendo su movimiento, superándose así la fuerza estabilizadora debida a la gravedad y las fuerzas de fricción y cohesión. Los fenómenos son diferentes para suelos granulares y para suelos cohesivos.

La erosionabilidad del suelo es un efecto integrado de los procesos que regulan el posterior transporte. Estos procesos también están influidos por las propiedades del suelo tales como el tamaño de la partícula, estabilidad de agregados, materia orgánica,

¹ Suárez Díaz, Jaime. “La Erosión-Conceptos Básicos” En: Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001. Pág.48.

y por el tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo, la dispersión y la transmisión de agua.

Existen pocos métodos válidos para la medición de la erosionabilidad del suelo porque la mayoría reflejan una cantidad de factores que no son propios de ella.

2.4 TIPOS DE EROSIÓN

Los dos tipos principales de erosión que se pueden presentar son los siguientes:

- Erosión eólica
- Erosión fluvial

2.4.1 EROSIÓN POR VIENTO O EÓLICA

La erosión por viento o eólica, es el tipo de erosión que ocurre cuando los suelos desprovistos de vegetación son expuestos a las altas velocidades del viento, este último ejerce una fuerza tractiva superior a las fuerzas gravitacionales y cohesivas de las partículas del suelo, el viento desprende las partículas y las transporta en suspensión.

Las pequeñas partículas de entre 0.1 a 0.5 mm, son acarreadas por el viento en saltos o brincos, las partículas de mayor tamaño se mueven rodando, mientras que las finas son transportadas en suspensión (Ver Figura N°2.1).

La más visible de estas acciones es la suspensión, que puede ser observada en tormentas de polvo. La erosión eólica llega a ser muy común en zonas con baja precipitación fluvial, (menos de 375 mm/año) con suelos arenosos y niveles bajos de materia orgánica. En los desiertos donde este caso de erosión por viento ocurre más frecuentemente.

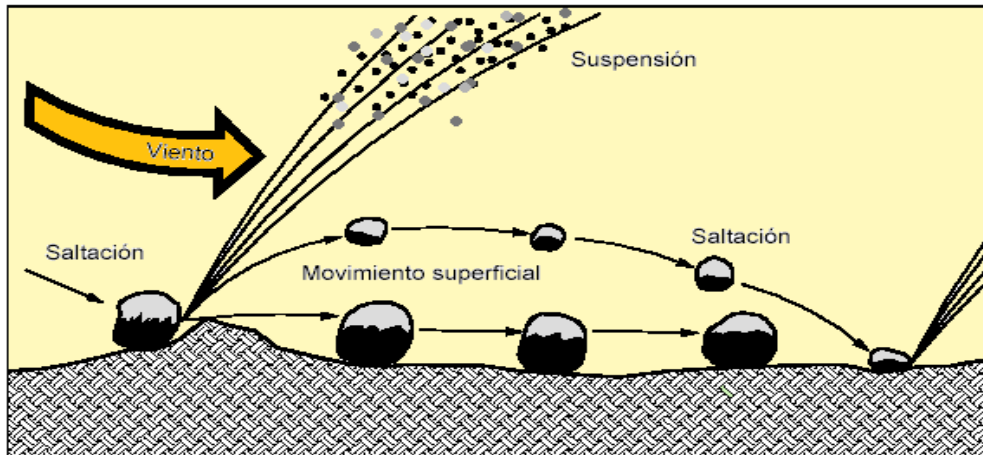


FIGURA N°2.1 Mecanismos de Erosión por Acción del Viento.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

La temperatura y la humedad son los factores más importantes que intervienen en la erosión eólica, siendo solo los suelos secos los que presentan susceptibilidad a la erosión por viento. Tanto la longitud como la pendiente de los taludes tienen muy poca relevancia en este tipo de erosión. El viento puede recoger y cargar partículas con un tamaño menor a 0.1 mm (limos o arcillas muy finas) provenientes de suelos secos.

2.4.2 EROSIÓN FLUVIAL

La erosión fluvial engloba todos los procesos de erosión provocados por la actividad del agua que se mueve tanto superficialmente como subterráneamente. El agua proveniente de lluvias inicia la erosión sobre la superficie, tal como se describe a continuación, estos procesos pueden llegar a ser muy complejos y es común que varios de ellos actúen conjuntamente.

2.4.2.1 EROSIÓN POR GOTAS DE LLUVIA

La erosión por Gotas de lluvia o golpeo de lluvia definen el proceso de la erosión hídrica que se define como el proceso de separación de partículas de suelo o roca de la superficie producido por un flujo de agua que circula por la misma-. Este tipo de erosión ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre la superficie desprotegida, estas gotas actúan compactando y destruyendo la estructura del suelo separándola en partículas relativamente pequeñas; cuando la gota de agua impacta sobre el suelo desnudo las partículas saltan a una cierta altura (Ver Figura N°2.2), éstas caen repartidas en un área de aproximadamente un metro cuadrado. De esta manera se da el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Posteriormente las partículas son transportadas por el flujo de agua.

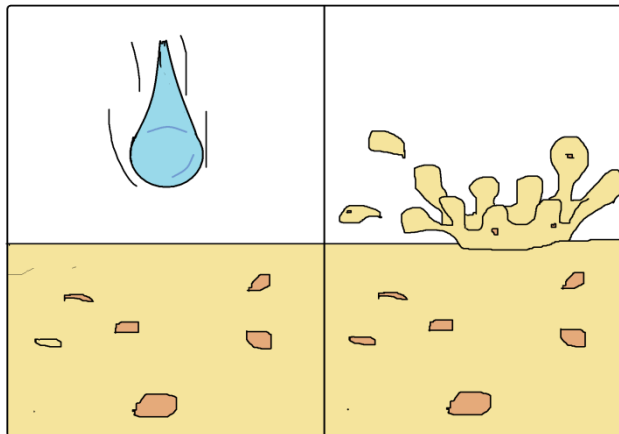


FIGURA N°2.2. Erosión por gotas de lluvia (erosión hídrica), a la izquierda la caída de la gota de agua y a la derecha el golpe, desprendimiento y esparcimiento del suelo.

El mecanismo que existe para evitar este efecto es la presencia de biomasa vegetal la cual actúa como una cubierta protectora del suelo. La cubierta vegetal ejerce su acción a dos niveles: uno por encima del suelo y otro por debajo. En el primero, existe un efecto de interceptación de las gotas de lluvia y en el segundo interviene directamente el enraizamiento. En un suelo que carece de protección vegetal se calculan hasta

cincuenta metros cúbicos de suelo removido por hectárea en una lluvia fuerte de una hora de duración. La erosión es una función del poder erosivo del agua y de la erosionabilidad del suelo. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración de la misma. Cuando la intensidad o cantidad de lluvias es alta la erosión será más rápida.

Las gotas de lluvia que caen sobre una superficie árida, son agentes de erosión notablemente efectivos, debido a que cada gota tiende a arrojar al aire partículas de material sin consolidar. Se ha demostrado en mediciones que las gotas pueden mover hasta 250 toneladas de material por hectárea, simplemente por medio de la salpicadura. En una superficie a nivel las partículas se mueven hacia adelante y hacia atrás, pero en una superficie inclinada tienden a moverse pendiente abajo. Dando lugar a un proceso denominado erosión por salpicadura; en una vertiente, por ejemplo, este tipo de erosión tiende a transportar el suelo hacia niveles inferiores, disminuyendo la capacidad del mismo para que se infiltre el agua, debido a que las aberturas naturales del suelo quedan taponadas por las partículas movidas por la salpicadura de las gotas de lluvia.

2.4.2.2 EROSIÓN LAMINAR

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa (Ver Figura N°2.3).

La erosión laminar como parte de la erosión hídrica, es la forma de erosión más perjudicial, debido a que frecuentemente no se le reconoce y por ende, pocas veces se trata. Este tipo de erosión, es provocada por las precipitaciones. A medida que las gotas de lluvia impactan en el suelo, se desprenden de éstas partículas de suelo que luego el agua arrastra al escurrirse; convirtiéndose en agua turbia barrosa que luego desemboca

en los desagües, arroyos y ríos. Este tipo de erosión da origen a otras formas más impresionantes de erosión: Surcos y Cárcavas. Los efectos de la erosión laminar pueden apreciarse más fácilmente en las zonas boscosas que carecen de recubrimiento vegetal, donde la pérdida de suelo deja al descubierto las raíces de los árboles. La cantidad de suelo que se pierde a causa de la erosión laminar es alarmante.

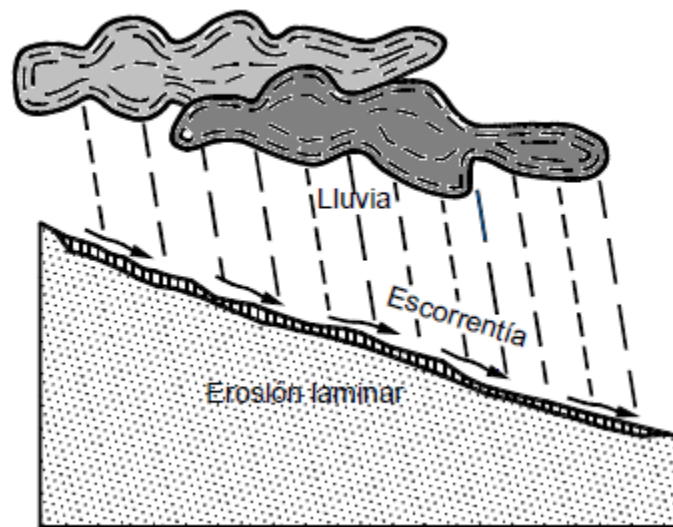


FIGURA N°2.3: Proceso de Erosión Laminar.

FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

El agua, ejerce una fuerza de arrastre sobre la superficie del suelo, arrancando partículas de material mineral cuyo tamaño varía desde la fina arcilla hasta la arena gruesa o grava, dependiendo este hecho de la velocidad de la corriente y del grado en que las partículas estén unidas por las raíces de las plantas o mantenidas bajo un manto de hojas caídas. La lenta remoción del suelo forma parte del proceso natural geológico de denudación de las masas continentales que es universal e inevitable, bajo condiciones naturales estables, la erosión es lo suficientemente lenta como para permitir la formación y el mantenimiento de varios horizontes en el suelo, lo que permite a la vegetación mantenerse. En contraste, la erosión del suelo puede ser

enormemente acelerada por las actividades humanas o por raros acontecimientos naturales. Originando un estado de erosión acelerada, que transporta el suelo a un ritmo mucho más rápido que aquel a que puede ser formado.

La erosión laminar, es la más común en áreas degradadas de campos de pastizales y prados que han sido utilizados intensamente por actividades humanas siendo áridas y semiáridas. Muchas de las partículas del suelo son desprendidas por el pisoteo, por la erosión eólica o por el impacto de las gotas de lluvia. Estas partículas luego son arrastradas por la escorrentía a ríos u otro tipo de sistema de corriente. La erosión laminar se caracteriza por un descenso general del nivel del suelo, exceptuando las áreas donde las raíces protegen al suelo dejando pedestales levantados.

Asimismo, este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas donde el suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible. En estos la acción de las gotas de lluvia altera el suelo superficial, el agua parcialmente se infiltra y parcialmente se acumula sobre la superficie del terreno formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera pero la profundidad de flujo aumenta talud abajo. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo pero en partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de erosión. Al continuar la acción de la lluvia y al mismo tiempo ocurrir el flujo se genera turbulencia en el flujo, aumentando la capacidad de erosión. El flujo de agua toma un color marrón o amarillo por la presencia de sedimento. Las áreas de cultivos no permanentes son extraordinariamente susceptibles a la erosión laminar al igual que los suelos sin vegetación y los suelos sujetos a sobre pastoreo de ganado.

2.4.2.3 EROSIÓN EN SURCOS

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial o escurrimiento empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie.

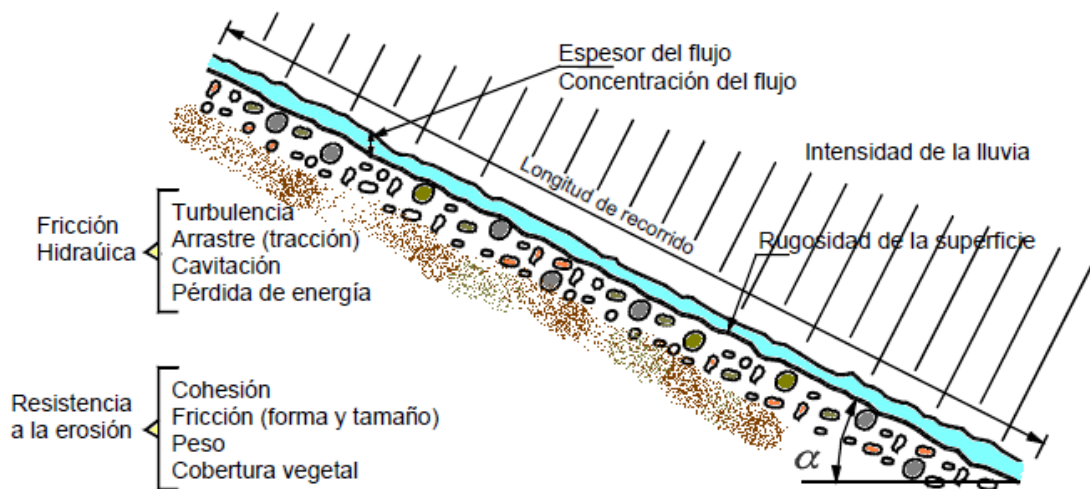


FIGURA N°2.4 Elementos que intervienen en la formación de surcos.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión (Ver Figura N°2.4), formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo.

Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V, la cual puede cambiar a forma en U. (Ver Figura N°2.5). Luego la profundidad del canal va aumentando y los flujos adquieren velocidades cada vez mayores. La energía de este flujo concentrado

empieza a desprender partículas de suelo incorporándolas al flujo, convirtiendo estos microflujos concentrados en las rutas preferenciales de los sedimentos.

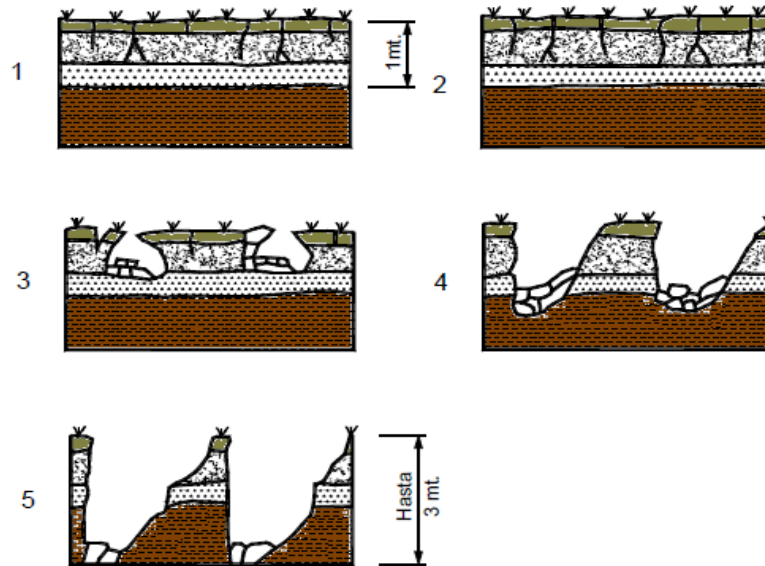


FIGURA N°2.5: Proceso de Formación de Surcos y Cárcavas.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

La erosión se aumenta cuando el espesor del flujo es muy cercano al diámetro de las gotas de lluvia (0.5 a 5 mm); las partículas de suelo son removidas por el golpeo de la lluvia y transportadas por el flujo, aún con pendientes muy pequeñas. El agua dentro del surco presenta considerable turbulencia y puede erosionar partículas relativamente grandes. Los surcos paralelos forman una red de drenaje en la cual los surcos más profundos rompen la divisoria de los surcos más pequeños, llevando el agua al punto más bajo. Este proceso fue llamado por Robert E. Horton (1945) como «micro piratería». Su efecto es que su espaciamiento es mayor talud abajo y la profundidad que predomina es la de los surcos de mayor poder erosivo. Este proceso puede tener lugar durante el tiempo de una sola lluvia o con el proceso continuo de varias lluvias. La capacidad erosiva de los surcos es tal, que si la cobertura vegetal y de raíces no es muy fuerte, puede romper la vegetación. Los surcos en ocasiones pasan por debajo de las

raíces. La erosión en surcos es la causante del mayor porcentaje de producción de sedimentos sobre la superficie de la tierra (Schwab y otros, 1981). La mayor parte del volumen total de sedimentos transportados por procesos erosivos ocurre en forma de surcos, después de la acción del golpeo de la lluvia. La acción de golpes de la lluvia y el flujo de agua generado en la dirección principal de la pendiente, forma inicialmente microsurcos de erosión (*Rills*) y a medida que la longitud de flujo es mayor los surcos se hacen más profundos y de menor densidad por unidad de área.

Cuando los surcos alcanzan mayores profundidades y llegan a ser más anchos se dice que los surcos se convirtieron en Cárcavas. Los surcos pueden eliminarse con rastrillado y siembra de vegetación, mientras que las Cárcavas requieren de obras más complejas de Ingeniería. Los suelos más susceptibles a formación de surcos son los suelos expuestos al agua que carecen de cobertura vegetal. Entre mayor sea la cobertura vegetal superficial, la susceptibilidad a la formación de surcos disminuye.

Los taludes o laderas cóncavas son muy vulnerables a que se formen surcos y Cárcavas, debido al aumento de velocidad en la parte alta de una corriente concentrada. La estructura de los suelos residuales facilita la formación de corrientes rectas en forma de cuña, en las cuales concentran el agua y fácilmente se forman surcos y Cárcavas. El poder de erosión de los surcos puede detenerse con la construcción de obras como barreras de vegetación intensa las cuales actúan como línea de control, de la misma forma la construcción de bermas y cunetas.

2.4.2.4 EROSIÓN EN TÚNELES SUBSUPERFICIALES

El agua infiltrada puede fluir subsuperficialmente en forma semiparalela a la superficie del terreno. Si los suelos son muy erosionables, este flujo puede producir erosión interna, creando pequeños canales subterráneos o túneles (Ver Figura N°2.6). Estos

túneles se presentan especialmente cuando la cobertura vegetal es pobre y las raíces son poco densas o poco profundas.

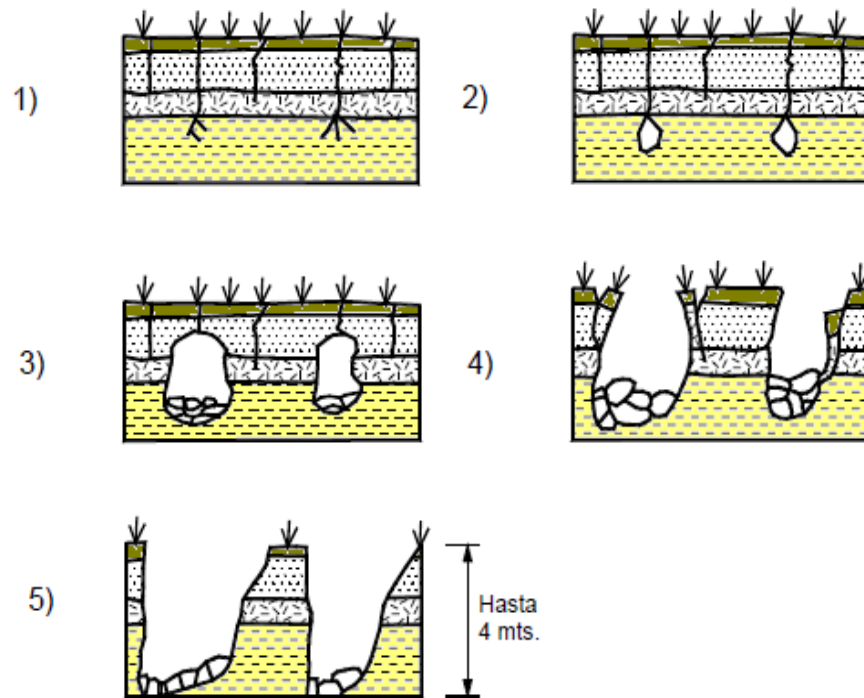


FIGURA N°2.6: Proceso de formación de Cárcavas por flujo sub-superficial.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

La erosión en túneles se inicia por el movimiento del agua en suelos dispersivos o erosionables y en ocasiones ocurre a lo largo de estructuras heredadas en el suelo residual o a lo largo de grietas o de cavernas de hormigas u otros animales.

Para la formación de túneles de erosión se requieren varias condiciones:

- Alta capacidad de infiltración.
- Suelo de alta erosionabilidad.
- Pendiente importante del terreno.
- Lluvias importantes (Superior a 650 mm por año).

- Alta permeabilidad o la presencia de cavernas, grietas o estructuras heredadas.

A medida que avanza el proceso de erosión, el túnel aumenta de tamaño y finalmente puede colapsar formando Cárcavas o surcos profundos. La presencia de túneles de erosión se puede detectar por la aparición de huecos en el suelo.

Los sedimentos en los surcos se transportan por fuerzas muy similares a las de las corrientes de agua permanentes. Los sedimentos parcialmente se transportan suspendidos, mientras las partículas más gruesas van rodando a lo largo del surco.

2.4.2.5 EROSIÓN INTERNA

La erosión interna se refiere al transporte de partículas en solución, suspensión y arrastre a través de cavernas interconectadas, ductos o a lo largo del fondo de cimentaciones. Se debe distinguir entre la erosión subsuperficial y la erosión profunda. En la erosión subsuperficial se produce arrastre de partículas finas a veces casi imperceptibles (Difuso) y en ocasiones produciendo hundimientos y Cárcavas. Esta erosión ocurre en razón al proceso de infiltración, como se indicó anteriormente. En la erosión profunda se pueden formar grandes cavernas internas. Los conductos de tubificación o erosión interna varían en longitud desde unos pocos centímetros a cientos de metros y en diámetro hasta decenas de metros. Pueden convertirse en rutas importantes de agua a través de una presa o pueden colapsar para formar Cárcavas superficiales.

- **Susceptibilidad a la erosión interna**

Los factores que pueden iniciar un proceso de erosión interna son:

- Presencia de rellenos no compactados (zanjas para enterrar ductos).
- El agrietamiento por cambios de humedad.

- La desaparición de la cobertura vegetal.
- La dispersibilidad o la solubilidad del suelo.
- Los gradientes hidráulicos internos muy altos.
- La presencia de capas impermeables dentro del perfil del suelo.
- La presencia de fracturas de neotectónica o estructuras heredadas en un suelo residual.

Uno de los casos más severos de erosión interna ocurre cuando hay fisuras o grietas. Al llover el agua se infiltra rápidamente dentro de las ranuras del suelo y se produce un flujo subhorizontal que arrastra las partículas de suelo formando un canal. En materiales solubles como las calizas, las corrientes subterráneas pueden formar grandes cavernas. Si el suelo es dispersivo ocurre defloculación de la arcilla al contacto con el agua, debilitando las uniones electroquímicas entre las partículas, facilitando así la erosión. La erosión interna se da comúnmente en los mismos tipos de suelos que sufren erosión superficial. Una vez se han formado las cavernas o conductos subterráneos avanzan hacia arriba muy rápidamente. El agua que circula a través de las grietas erosiona de acuerdo a la separación de las partículas del suelo (dispersibilidad) y la velocidad del flujo. También se puede producir un proceso de tubificación (formación de túneles) a lo largo del contacto del suelo con una estructura, el cual se inicia en el punto de afloramiento que avanza aguas arriba. La tubificación ocurre frecuentemente en suelos con permeabilidades tan bajas como $1 \cdot 10^{-6}$ cm/s, equivalente a arenas finas poco permeables.

La formación de túneles de erosión por flujo subterráneo de agua ha sido estudiada intensamente en presas de tierra pero también es común a lo largo de tuberías de oleoductos en pendientes de montaña y en formaciones naturales de suelos erosionables.

2.4.2.6 EROSIÓN EN LAS ZANJAS DE CONDUCTOS ENTERRADOS

Debido a que existen grandes pendientes (mayores del 30%), especialmente en zonas de alta montaña, ocurre que en zanjas dentro de las cuales se colocan tuberías, se produce un flujo interno de agua con velocidades importantes. El flujo que generalmente se localiza al fondo de la zanja genera arrastres de sedimentos formándose cavernas de erosión que pueden producir cárcavamiento superficial y/o erosión debajo de la cimentación de la tubería. Este fenómeno puede ser controlado por medio de barreras de materiales resistentes a la erosión que sirven de elemento disipador interno de energía y evitan la continuidad de posibles cavernas que estén en formación. Estas barreras se complementan con lechos filtrantes y tubos colectores que recogen el agua interna y la sacan a la superficie del terreno.

2.4.2.7 EROSIÓN EN CAUCES DE AGUA (LATERAL Y PROFUNDIZACIÓN)

La erosión en cauces de agua o en corrientes de agua tiene lugar debido a la acción de volúmenes de agua en movimiento, los cuales por la fuerza tractiva de la corriente pueden producir el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas de suelo o sedimentos tanto en el fondo como en la ribera de la corriente. En la erosión de corrientes de agua se requiere tener en cuenta varios factores:

- Profundización del cauce.
- Inestabilidad lateral de la corriente.
- Transporte de sedimentos.
- Sedimentación.
- Olas producidas por el viento.
- Deslizamientos en la ribera de las corrientes.
- Dinámica fluvial.
- Efectos de la intervención antrópica.

Los procesos de erosión en los ríos son extraordinariamente complejos y obedecen a fenómenos hidráulicos y geomorfológicos, en los cuales interviene una gran cantidad de variables.

2.4.2.8 EROSIÓN EN MASA (DESLIZAMIENTOS)

La erosión en masa incluye los fenómenos de desprendimiento, transporte y depósito de grandes masas de suelo por acción de la fuerza del agua en movimiento. En el desprendimiento y transporte de las masas actúan las fuerzas de gravedad y la fuerza del agua.

Los fenómenos de erosión en masa incluyen los siguientes tipos de movimiento (Gray y Sotir, 1996):

- Reptación (*Creep*).
- Flujos de tierra.
- Flujos de lodo.
- Flujos de detritos.
- Flujos hiperconcentrados.
- Avalanchas.

2.4.2.9 EROSIÓN EN CÁRCAVAS

Se denomina Cárcava a un canal de erosión con una sección avanzada. Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas debido a su tamaño. Las Cárcavas tienen una mayor capacidad de transporte de sedimentos que los surcos, debido a que las velocidades de flujo son mayores. Además actúan como cauces de concentración y transporte de agua y sedimentos. En este proceso una Cárcava con cauce en V captura a las vecinas y va transformando su sección de una V ampliada a U. Las Cárcavas son canales mucho más largos que los surcos. Estos canales transportan corrientes

concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias. Las Cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente. Una Cárcava significa la pérdida de grandes volúmenes de suelo en un solo sitio. Las Cárcavas profundas y anchas alcanzan profundidades en algunos casos superiores a 50 m.

Hudson. (1982), explica la formación y avance ilimitado de una Cárcava, mediante la fórmula de Manning, la cual relaciona el gradiente y la rugosidad del terreno con la velocidad de flujo, de manera que:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

R = Radio hidráulico.

S = Pendiente.

n = Coeficiente de rugosidad.

- Una vez ha comenzado la Cárcava, el canal es de sección más angular y profunda que la original, es decir, aumenta R (Radio hidráulico). El cauce está libre de vegetación, de tal forma que el coeficiente de rugosidad (n), disminuye.
- A medida que la cabeza de la Cárcava retrocede curso arriba es mayor la altura de caída del agua. Dicho tramo es el que experimenta por lo general una erosión más activa. El efecto de cascada es el que erosiona el suelo ya que salpica y arremolina contra el escarpe. La parte más baja del mismo se erosiona, dejando la parte alta en saliente, hasta que cae dando lugar a una cara vertical, momento a partir del cual todo el proceso comienza de nuevo.

- Para que la velocidad (V) permanezca constante se debe disminuir el gradiente (S), o aumentar el coeficiente de rugosidad (n) mediante establecimiento de vegetación. Esto es lo que ocurre casi invariablemente, el gradiente (S) del lecho es más llano que el original.
- Al comenzar la Cárcava, los cambios se manifiestan en un aumento del radio hidráulico R , disminución del coeficiente de rugosidad (n) y una disminución probable del gradiente (S). En resumen, el efecto general es que aumente la velocidad, razón por la cual, la erosión en Cárcavas se perpetúa así misma y no se auto corrige.

Las áreas con topografía de fuerte pendiente y mantos de suelo de gran espesor son las más susceptibles a erosión en Cárcavas, así también las mesetas semiplanas que recogen gran cantidad de escorrentía con taludes de pendiente fuerte lateral presentan especial susceptibilidad a la formación de Cárcavas, especialmente Cárcavas anchas. Las áreas más afectadas por carcavamiento son aquellas que tienen suelos dispersivos o altamente erosionables. Es importante recordar que el suelo se expone a la erosión debido a la eliminación de la cobertura vegetal o la destrucción de la estructura del suelo por remoción de la capa protectora superficial. Así como también la formación de cascadas o caídas de agua acelera el proceso de carcavamiento.

Aunque el volumen total de pérdidas de suelo en el mundo debida a la erosión en Cárcavas es comúnmente menor que la debida a otras erosiones, los daños asociados con la erosión en Cárcavas pueden ser mucho más significativos, y los riesgos para las vidas humanas pueden ser mayores. Así también, en términos del total de sedimentos que se producen en el mundo es menor en la erosión por Cárcavas que otros tipos de erosiones, pero son mucho más destructivos en términos de daños a ciudades, carreteras, terraplenes, etc.

2.4.2.9.1 PROCESO DE CARCAVAMIENTO

Los procesos más importantes en el crecimiento de una Cárcava son:

1. **Profundización del fondo de la Cárcava:** El fondo de la Cárcava se va profundizando en forma continua o discontinua. El proceso continúa hasta que se logra una pendiente de equilibrio o aparece un manto profundo más resistente a la erosión. (Ver Figura N°2.7)
2. **Avance lateral:** Al profundizarse el fondo de la Cárcava, ésta se amplía por la inestabilidad geotécnica de los taludes laterales.
3. **Erosión acelerada:** Está concentrada en los sitios de cambio topográfico en el fondo de la Cárcava. En los cambios de pendiente, la turbulencia y la fuerza concentrada de la corriente aceleran localmente el proceso de erosión y socavación.
4. **Avance de la cabeza de Cárcava:** El avance más dramático es comúnmente el avance de la Cárcava hacia arriba de la pendiente, aumentándose permanentemente la altura del escarpe vertical entre la corona y la cabeza. Entre más alto es el escarpe, la inestabilidad es mayor y la Cárcava avanza a mayor velocidad.
5. **Erosión laminar y en surcos.** Dentro de las Cárcavas se pueden producir procesos de erosión laminar o erosión en surcos, debidos especialmente al impacto de gotas de lluvia y la esorrentía difusa.

Las aguas de esorrentía concentrada forman inicialmente surcos, los cuales se profundizan por debajo de la cobertura vegetal. Una vez se forma la Cárcava de erosión, ésta se va tornando más profunda, y se produce ampliación lateral y hacia

arriba. El proceso continúa con la profundización y ensanchamiento del canal. La cabeza de la Cárcava se hace más alta y avanza talud arriba cada vez más rápidamente, volviéndose prácticamente incontrolable. Adicionalmente a la erosión propiamente dicha, se produce desprendimiento lateral de pequeños bloques de suelo. La profundización de la Cárcava trae consigo su ampliación y avance hacia arriba. La cabeza de la Cárcava forma un escarpe cada vez más alto y lo mismo ocurre lateralmente. Se presentan entonces deslizamientos de tierras en estos taludes semiverticales.

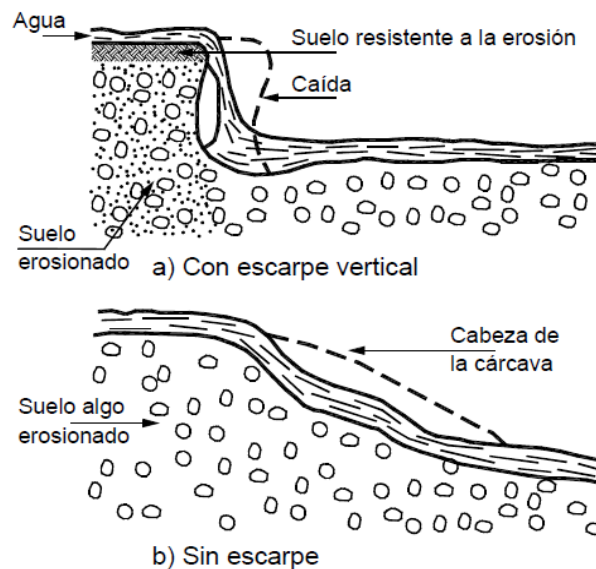


FIGURA N°2.7: Proceso de Erosión en el Fondo de una Cárcava.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

En este proceso se pueden formar varios canales secundarios. Al profundizarse el canal se aumenta la pendiente y la capacidad erosiva de la corriente concentrada. Si en el proceso de carcavamiento el canal se profundiza por debajo del nivel freático, se generan erosiones por exfiltración del agua subterránea hacia la Cárcava acelerándose el proceso de ampliación de la Cárcava. Si aparece a profundidad un manto más resistente a la erosión, el proceso de profundización disminuye pero el proceso de

ampliación continúa. En el fondo de la Cárcava se pueden formar gradas o caídas de agua por erosión diferencial de los diversos mantos.

A medida que se va formando la Cárcava, el caudal aumenta progresivamente y se crea un desequilibrio con un nivel muy alto de turbulencia. La combinación de caudal, radio hidráulico, rugosidad y gradiente, generan un proceso de aumento progresivo de la capacidad de erosión y la erosión a su vez va modificando en forma casi geométrica los niveles de velocidad y turbulencia, creándose un proceso que puede avanzar muy rápidamente y amenazar la estabilidad de grandes áreas de terreno.

El proceso generalmente no es autocontrolable, sino que se perpetúa en el tiempo afectando cada vez más áreas. Una vez se forma una Cárcava, la erosión progresa hacia aguas arriba con la acción erosiva causada por el flujo concentrado dentro de la Cárcava y la inestabilidad lateral.

2.4.2.9.2 TIPOS DE CÁRCAVAS

Se puede identificar cuatro tipos de Cárcavas:

- **Cárcavas Continuas Alargadas**

Este tipo de Cárcavas no tienen cabeza con escarpe vertical importante. Esto ocurre en suelos granulares cohesivos, al deteriorarse la cobertura vegetal por acción de los surcos de erosión. Generalmente aumentan en ancho y profundidad talud abajo y pueden presentar sedimentación en sectores de menores pendientes. Las Cárcavas continuas, llamadas también Cárcavas de socavación, se profundizan en un proceso de erosión o lavado de las partículas del fondo del cauce. Generalmente, las partículas erosionadas son las arenas finas y los limos, permaneciendo en la Cárcava las partículas

de mayor tamaño. Las Cárcavas continuas alargadas están asociadas frecuentemente con paisajes suavemente ondulados.

- **Cárcavas Alargadas con Escarpe Vertical Superior**

Ocurre en suelos cohesivos o con coberturas de raíces; son retrogresivas con avance y fallas de los taludes resultantes por esfuerzo al corte o volteo. En ocasiones se agrava el proceso por afloramiento de agua subterránea en el pie del escarpe formado. Inicialmente la Cárcava se profundiza hasta lograr una pendiente de equilibrio por razones geológicas o propias del proceso erosivo y luego inicia un proceso de avance lateral y hacia arriba, mediante la ocurrencia de deslizamientos. La cabeza de la Cárcava puede moverse hacia arriba como un resultado de la excavación en el pie del escarpe por la caída de agua desde la corona y por deslizamientos de los taludes. Las Cárcavas continuas también pueden avanzar lateralmente en un proceso similar al de las Cárcavas alargadas.

- **Cárcavas Anchas**

Este sistema de Cárcavas anchas es muy común en cortes de excavaciones para carreteras y ferrocarriles. El corte inicial es un talud con una determinada pendiente. El agua al correr sobre el talud genera una serie de surcos y pequeñas Cárcavas dentro de una Cárcava ancha que comprende una sección grande del corte. En la práctica el corte original de la vía es realizado a un ángulo superior al ángulo de estabilidad por erosión del talud y se genera un proceso progresivo de deterioro del talud, formándose un escarpe vertical y una nueva pendiente estable (*Blunt y Dorken, 1995*).

La formación de Cárcavas anchas es muy común en suelos residuales donde el material más superficial del perfil generalmente es más erosionable y al profundizarse la resistencia a la erosión aumenta. La pendiente estable a la erosión no corresponde a la

pendiente estable para deslizamientos de tierra. Generalmente, la pendiente de reposo por erosión superficial es muy inferior a la pendiente de reposo por erosión en masa. El escarpe vertical se forma exactamente debajo de la vegetación original en la corona del talud. El material de suelo debajo de las raíces es socavado por el proceso de carcavamiento y se forma un voladizo de vegetación (Ver Figura N°2.8).

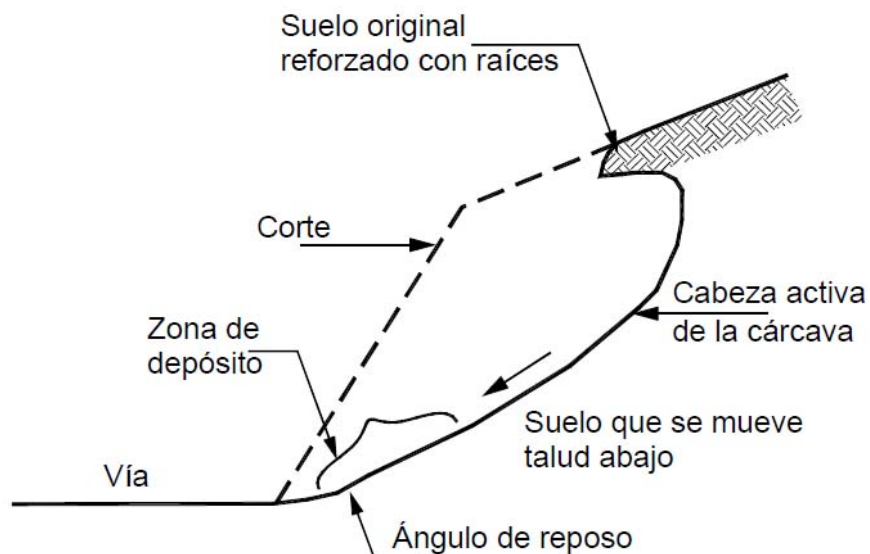


FIGURA N°2.8: Ilustración Esquemática del Proceso de Cárcavas Anchas en corte de Carretera (Blunt y Dorken 1995)

FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Al aumentar la longitud del voladizo la vegetación falla por bloques. El tamaño y la velocidad de avance de la Cárcava son una función de la resistencia a la erosión del suelo y de la cohesión, así como de otros parámetros de tipo geotécnico, como la expansibilidad del suelo. (Ver Figura N°2.9).

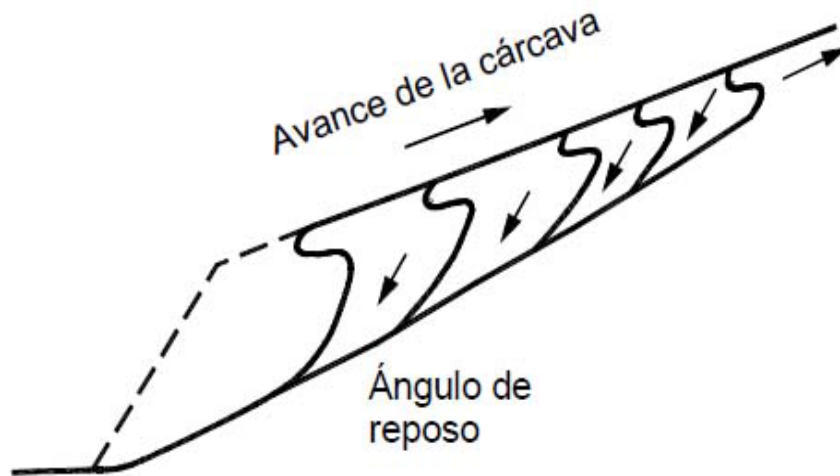


FIGURA N°2.9: Esquema de avance de una Cárcava ancha en un suelo homogéneo.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

El proceso de avance de las Cárcavas anchas no es uniforme y se pueden formar diferencias considerables de pendiente a lo largo y ancho de la Cárcava, de acuerdo a la erosionabilidad de los materiales. El resultado es un perfil topográfico no uniforme (Ver Figura N°2.10).

- **Cárcavas Ramificadas**

Ocurre con alguna frecuencia que las Cárcavas alargadas formen Cárcavas laterales creando un sistema de ramificación de la Cárcava. Esta ramificación genera un proceso muy fuerte de denudación con generación de grandes cantidades de sedimentos para las corrientes.

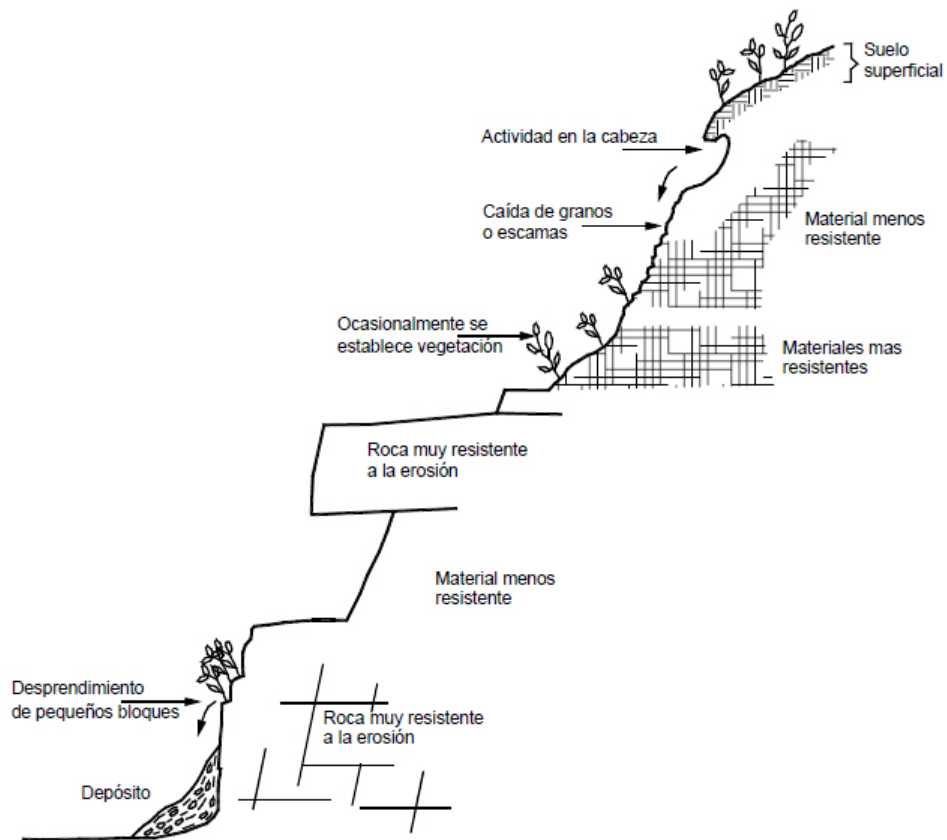


FIGURA N°2.10: Formación de Cárcava ancha en rocas estratificadas con resistencias diferentes a la erosión.

FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.4.9.2.3 CLASIFICACIÓN DE CÁRCAVAS

De acuerdo a su forma las Cárcavas pueden ser clasificadas en seis categorías diferentes, cuya descripción se procede conforme a los planteamientos de Peralta (1977) citado por Moder (1983a).

- **Lineal:** De forma larga y con cabeza angosta, de pocos tributarios en sus costados; puede ensancharse y dar origen a los tipos restantes.

- **Bulbosa:** Ancha y con forma de espátula en el extremo superior, pudiendo ser lineal en su parte baja; a menudo sigue el curso de un drenaje viejo. Tiene pequeños tributarios en todos los costados; al irse desarrollando da origen a la Cárcava de tipo dendrítico.
- **Dendrítica:** Formada por muchos tributarios en forma ramificada; puede originarse siguiendo las líneas de un drenaje natural; su cabeza puede tener forma de semicírculo.
- **Enrejada:** Los tributarios entran al canal formando aproximadamente un ángulo de 90°; se desarrolla principalmente en zonas planas.
- **Paralela:** Compuesta por una o más Cárcavas que desaguan en una sola.
- **Compuesta:** Combinaciones de dos o más formas, dándose especialmente en zonas con problemas avanzados de erosión.

2.4.2.9.4 CAUSAS DE LA FORMACIÓN DE CÁRCAVAS

La mayoría de las Cárcavas son causadas por actividades humanas (antrópicas) y se forman en sitios de concentración de aguas. Las Cárcavas tienden a formarse donde se concentran grandes volúmenes de escorrentía especialmente cuando se descarga sobre taludes de alta pendiente con suelos erosionables (Ver Figura N°2.11).

- ***Cárcavas en las entregas de alcantarillas***

En los sitios en los cuales el agua sale de la alcantarilla a una velocidad muy alta y en forma concentrada, se requiere construir medidas de protección contra erosión y/o estructuras para disipación de energía. Generalmente trata de formarse una Cárcava de erosión que puede destruir la vía, al avanzar hacia arriba y lateralmente.

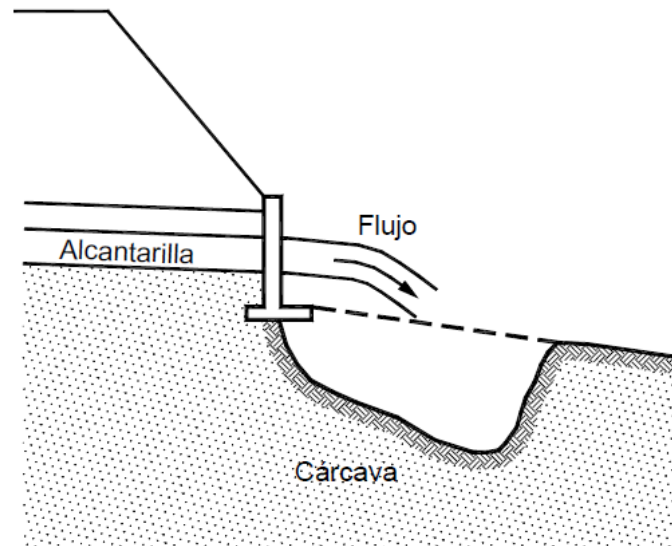


FIGURA N°2.11: Erosión en Entregas de Alcantarillas.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

- ***Cárcavas por urbanismo inadecuado***

En las zonas urbanas es muy común la generación de Cárcavas debido a que el urbanismo no tuvo en cuenta la forma como se concentra y fluye la escorrentía recogida por las vías y otras obras de urbanismo. El desborde de corrientes concentradas de agua hacia los taludes produce carcavamiento.

- ***Cárcavas por afloramiento de agua subterránea***

Los nacimientos o afloramientos concentrados de aguas subterránea son el resultado de fuerzas gravitacionales hidrostáticas, las cuales generan un movimiento de agua subterránea, que al encontrar un camino de salida o al ser obligada a emerger a la superficie del terreno generan corrientes superficiales (Ver Figura N°2.12). La presencia de exfiltraciones del agua subterránea está controlada por la estructura geológica o del suelo.

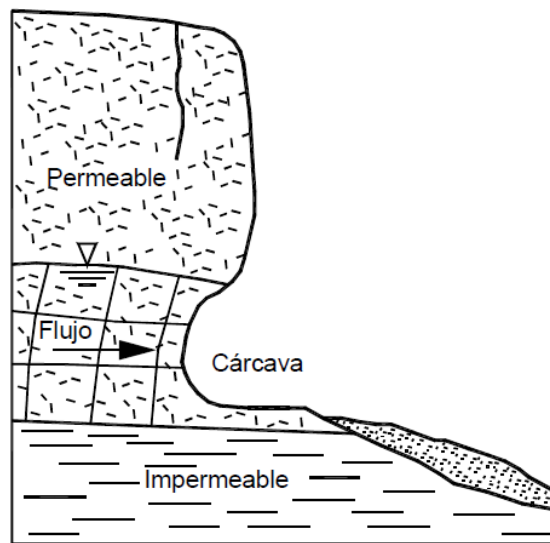


FIGURA N°2.12: Esquema de erosión por afloramiento de agua subterránea.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

La descarga de estos afloramientos depende de las características de la recarga de agua, o del acuífero de donde proviene la corriente. Las fluctuaciones son una respuesta a la recarga y varían en períodos desde minutos a años dependiendo de las condiciones hidrogeológicas. Los nacimientos pueden ser desde flujos intermitentes de muy poco caudal, los cuales desaparecen después de una lluvia, o de un período lluvioso; hasta nacimientos permanentes de metros cúbicos por hora. Al aflorar las aguas subterráneas, los gradientes hidráulicos del agua interna ejercen fuerzas de tracción sobre las partículas de suelo, generando desprendimientos de granos hasta bloques de suelos.

2.4.3 OTROS TIPOS DE EROSIÓN

Existen otros tipos de erosión adicionales a los anteriores, pero debido a que el tema central de este trabajo de graduación es soluciones técnicas a problemas de erosión

Cárcavas; se ha enfocado en los tipos de erosión que intervienen o que terminan en cárcavamiento, y que tienen ocurrencia en el AMSS, así se prescinde de aquellos tipos que no tienen efecto tanto en el país como en el AMSS. Entre estos tipos de erosión están: la erosión interna en presas, erosión por oleaje, en farallones marinos y por glaciales.

2.5 MECANISMOS DE EROSIÓN

Los procesos erosivos que se dan en los fenómenos de socavaciones, se inician con la interacción entre las partículas de suelo y un fluido como agua o aire. Esta interacción en donde se ven involucradas fuerzas tractivas, conlleva a que se produzcan tres procesos básicos que de acuerdo a la mecánica de la erosión son:

1. Desprendimiento de las partículas.
2. Transporte de las partículas desprendidas.
3. Depósito o sedimentación.

Las fuerzas que actúan o fuerzas tractivas dependen de la velocidad del agua, la turbulencia, los caudales y la forma y rugosidad del canal; la resistencia del suelo a la fuerza tractiva depende de la estructura y las interacciones físico-químicas entre las partículas de suelo (Ver Figura N°2.13).

El objetivo del control de erosión está dirigido a disminuir la fuerza tractiva y/o aumentar la resistencia del suelo a la erosión. Los mecanismos de erosión son:

2.5.1 CORROSIÓN O ABRASIÓN

La corrosión es el desgaste mecánico del perímetro del cauce o de los bloques acarreados por la corriente. Los bloques o cantos se van desgastando y redondeando al moverse por acción del flujo de agua, y la roca del fondo y orillas del cauce se van erosionando por la fricción de los bloques, gravas y arenas.

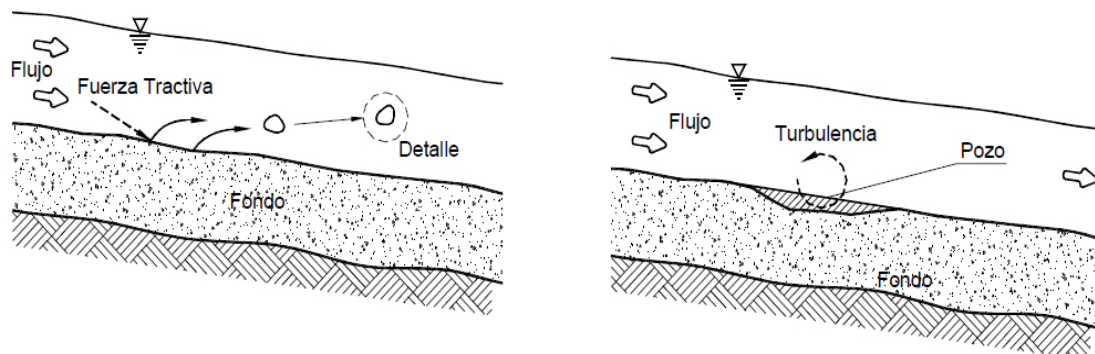


FIGURA N°2.13: Desprendimiento y Arrastre de Partículas. Arrastre de Partículas (izquierda) y Formación de Pozos en el Fondo (derecha).

FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.5.2 DISOLUCIÓN

El proceso de disolución de material de suelo o roca es mucho más común de lo que la mayoría de los especialistas pudieran creer. En algunos casos de erosión, más de la mitad del material erosionado fue disuelto por el agua. Este proceso es propio de compuestos como los óxidos de hierro y los carbonatos. La mayoría de las aguas llevan en solución productos de la erosión del suelo sobre el cual circula. Algunos suelos o productos de la meteorización de rocas son muy resistentes a la disolución en agua, pero otros como las calizas son fácilmente vulnerables (Ver Tabla N° 2.1).

2.5.3 FRICCIÓN HIDRÁULICA

Se le llama fricción hidráulica a la resistencia a lo largo del contacto de la corriente de agua con el suelo, ésta forma una zona de «Turbulencia» en la corriente. El espesor y características dinámicas de esta capa dependen de la rugosidad de la línea del suelo y de la velocidad, dirección y tipo de flujo.

TIPO DE ROCA	DESCENSO DEL NIVEL DEL TERRENO (mm/1,000 AÑOS)
Rocas Ígneas y Metamórficas	0.5 a 7.0
Esquistos micáceos	2.0 a 3.0
Areniscas del Mesozoico y Terciario	16 a 34
Morrenas Glaciales	14 a 50
Yesos	22
Calizas	22 a 100

TABLA N° 2.1: Estimativos de Disminución de Nivel por Disolución en Rocas.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

La turbulencia está caracterizada por un flujo irregular en todas las direcciones con un rango amplio de velocidades y se presenta flujo tangencial hacia abajo, tangencial hacia arriba, frontal hacia fuera, junto con combinaciones de estas y otras formas de flujo más complejas.

Las fuerzas generadas pueden desprender las partículas de suelo por fenómenos de arrastre, cavitación, etc. La fricción que genera la fuerza tractiva en la superficie y el transporte de sedimentos en especial de los granulares produce una pérdida de energía

y una disminución de velocidad del agua cerca al contacto con el suelo. Para que la erosión ocurra se requieren velocidades mayores que las que son necesarias para el transporte de los sedimentos (Ver Figura N°2.14).

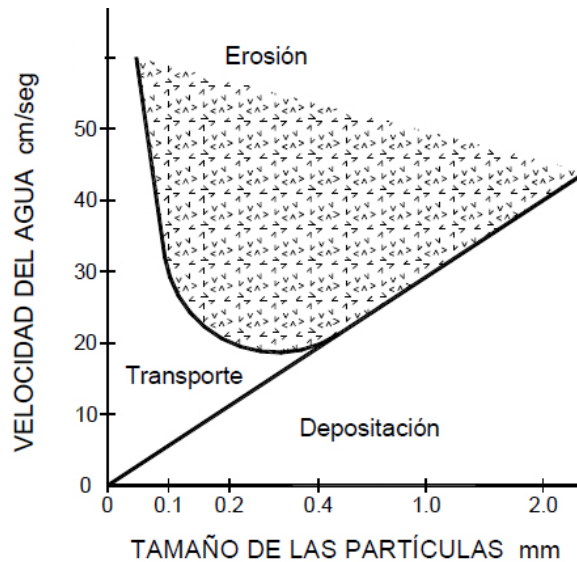


FIGURA N°2.14: Velocidades de Erosión, Transporte y Depósito.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Las partículas son erosionadas cuando las fuerzas de tracción, levantamiento y abrasión exceden las fuerzas de gravedad, cohesión y fricción, que tratan de mantener las partículas en su sitio. En el proceso de erosión ocurre una profundización y ensanchamiento del cauce.

No todos los sedimentos son transportados por suspensión; las partículas más grandes son cargadas por «Tracción» que consiste en rodamiento y arrastre y las partículas de tamaño mediano son transportadas a saltos. La concentración de sedimentos es mayor en el fondo del torrente que en la superficie. Mientras las partículas finas están más o menos uniformemente distribuidas, las partículas gruesas son transportadas muy cerca al fondo. (Ver Figura N°2.15).

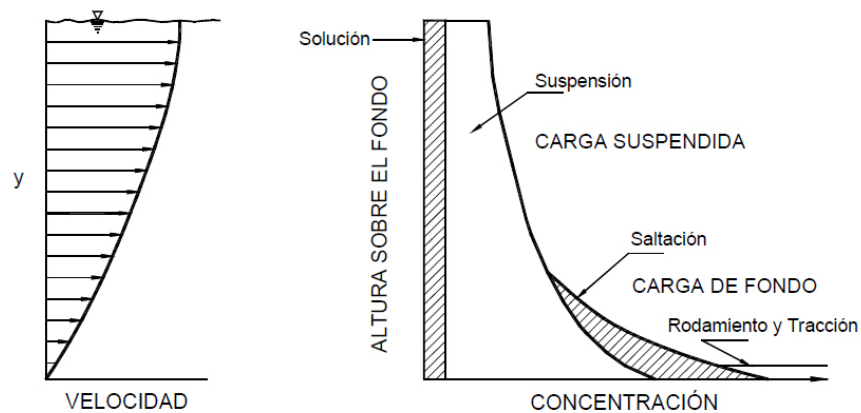


FIGURA N°2.15: Concentración de Sedimentos con la Profundidad de Flujo.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.5.4 FUERZAS DE EROSIÓN

Las fuerzas que ejerce el flujo sobre las partículas o sedimentos en el perímetro del cauce son básicamente las fuerzas de tracción y de levantamiento. La evaluación de estas fuerzas es muy compleja debido a los siguientes factores:

- La variación permanente de velocidades o fluctuaciones en el flujo turbulento. La variación de las velocidades instantáneas puede ser de 2 a 3 veces el promedio.
- La heterogeneidad o variedad de tamaño de granos expuestos a la corriente. Las partículas grandes protegen de las fuerzas de flujo a las más pequeñas. La superficie del fondo de la corriente no es uniforme, lo cual hace que las fuerzas no sean uniformes.

Los valores críticos de los esfuerzos del flujo sobre las partículas son originados por la turbulencia, las fluctuaciones de velocidad y de la forma y tamaño de las partículas y la geometría de la superficie del fondo. En los taludes de las orillas el esfuerzo crítico de

erosión depende adicionalmente del ángulo o pendiente de la orilla y del ángulo de fricción o de reposo de las partículas. Yang (1973) propuso un criterio para determinar el movimiento inicial o desprendimiento de las partículas de sedimento.

En la Figura N°2.16 analizando el desprendimiento de un bloque de roca en el fondo de una corriente. Se requiere una fuerza tractiva de fricción del flujo de agua sobre la partícula de suelo para lograr que esta partícula, embebida dentro de la masa de material del fondo de la corriente pueda ser desprendida.



FIGURA N°2.16: Representación Esquemática del Proceso de Erosión en Roca (Yang 1973)
1) Separación, 2) Levantamiento y 3) Desplazamiento.

FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.6 HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

Además de conocer los procesos erosivos que se dan en el suelo, es necesario entender los procesos hidrológicos que tienen lugar en él. El análisis hidrológico es uno de los trabajos previos más importantes para el diseño de obras de control de erosión, independientemente de su tamaño o de su costo. Este análisis es importante para determinar los caudales máximos, que servirán para proponer y dimensionar las obras hidráulicas y de protección necesarias. Si no se conocen con precisión y confiabilidad,

las intensidades máximas de precipitación y las características para determinar el coeficiente de escorrentía, no es posible diseñar adecuadamente obras para controlar la erosión. La hidrología no es una ciencia exacta y es posible que se obtengan resultados muy diferentes de acuerdo al método que se utilice para el cálculo y la metodología de manejo de la información; por lo tanto, se deben utilizar criterios de sana ingeniería para decidir cual método se debe aplicar. Cuando se diseñan obras para el control de erosión se recomienda ser prudentemente generoso en la suposición de lluvias y caudales y no correr el riesgo de perder las obras al diseñar para fuerzas de erosión menores que las reales.

2.6.1 CICLO HIDROLÓGICO

Inicialmente, en el proceso de comprensión del efecto que causa el flujo o corrientes de agua sobre los suelos, es necesario conocer su movimiento a través de la hidrosfera. El agua es un elemento natural abundante en la superficie de La tierra y esencial para la existencia de la vida, el agua se encuentra en la naturaleza de diferentes formas, generalmente en continuo movimiento; de acuerdo a un ciclo que incluye las nubes o vapor de agua, la precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve, la infiltración, la evapotranspiración, la escorrentía, las corrientes subterráneas, los acuíferos, los ríos y quebradas, los mares y los lagos (Ver Figura N°2.17)

El agua continuamente está cambiando de forma o estado, puede cambiar entre líquido, vapor y hielo de acuerdo a las etapas de un ciclo natural denominado ciclo hidrológico, el cual describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra.

Los procesos de cambios en las distintas etapas pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la tierra permanece

relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido.



FIGURA N°2.17: Ciclo Hidrológico del agua.
FUENTE: United States Geological Survey, USGS.

El ciclo hidrológico o del agua no se inicia en un lugar específico, pero para esta explicación asumimos que comienza en los océanos. El sol, que dirige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, parte de esta agua se evapora hacia el aire como vapor de agua, también la nieve y el hielo pueden sublimar directamente en vapor de agua. Éste último a través de corrientes ascendentes de aire llega a las capas superiores de la atmósfera, donde las temperaturas más frías ocasionan que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de las nubes colisionan, crecen y caen en forma de precipitación. Parte de esta precipitación cae en forma de nieve, y se acumula en capas de hielo y en los glaciares, los cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años. En los

climas más cálidos, la nieve acumulada se funde y se derrite cuando llega la primavera y fluye por el suelo. La nieve derretida corre sobre la superficie del terreno como agua de deshielo y a veces provoca inundaciones.

La mayor parte de la precipitación cae en los océanos o sobre la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie como escorrentía superficial. Una parte de esta escorrentía alcanza los ríos en las depresiones del terreno; en la corriente de los ríos el agua se transporta de vuelta a los océanos. El agua de escorrentía y el agua subterránea que brota hacia la superficie, se acumula y almacena en los lagos de agua dulce. No toda el agua de lluvia fluye por los ríos, una gran parte es absorbida por el suelo como infiltración. Parte de esta agua permanece en las capas superiores del suelo, y vuelve a los cuerpos de agua y a los océanos como descarga de agua subterránea. Otra parte del agua subterránea encuentra grietas en el suelo y emerge como manantiales de agua dulce. El agua subterránea que se encuentra a poca profundidad, es tomada por las raíces de las plantas y transpirada a través de la superficie de las hojas, regresando a la atmósfera. Otra parte del agua infiltrada alcanza las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos (roca subsuperficial saturada), los cuales almacenan grandes cantidades de agua dulce durante largos períodos de tiempo. Con el tiempo, el agua continúa fluyendo, parte de ella retornará a los océanos, donde el ciclo del agua se completa e inicia nuevamente.

2.6.2 PRECIPITACIÓN

Luego de conocer el ciclo del agua y su movimiento en la hidrosfera, es importante abordar específicamente aquellos procesos en los que el agua actúa como un agente erosionante, como es el caso de la precipitación y la escorrentía. Así pues, se conoce la influencia de éstas en la formación de Cárcavas.

La precipitación se distribuye en forma irregular tanto espacial como temporalmente. A nivel temporal en la zona intertropical están las dos épocas climáticas bien diferenciadas, la época seca y la época de lluvias. Asimismo a nivel espacial existen diferencias en cuanto a la distribución de la lluvia, debido a los factores orográficos y climáticos que las originan.

Los tipos de precipitación que se presentan son de origen: orográfico, convectivo y ciclónico. La precipitación orográfica se origina en la zona de barlovento de las cadenas montañosas, donde las nubes cargadas de humedad procedentes del mar al encontrarse con una barrera física (montañas) ascienden y se enfrían, ocasionando precipitaciones. La precipitación convectiva se genera debido al calentamiento de masa de aire lo que origina precipitaciones fuertes y rápidas (chubascos) generalmente en horas de la tarde, especialmente en los primeros meses de la época lluviosa. Las precipitaciones ciclónicas son originadas por sistemas atmosféricos como ondas tropicales, bajas presiones y vaguadas, así como por la influencia o acercamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), que afectan especialmente en los últimos meses de la época lluviosa, generando temporales de varios días consecutivos.

Por otro lado, existen otros fenómenos climáticos que afectan periódicamente, como es el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). El fenómeno del Niño genera retraso de la llegada de la estación lluviosa y un periodo más corto de la misma, así como una disminución en su cantidad y una prolongación de la canícula.²

A medida que avanza la época seca, las precipitaciones se presentan en forma más aislada y casi mínimas, en la mayoría del tiempo no se presenta ningún tipo de lluvias. En los meses de la época lluviosa, se destacan como zonas de pluviosidad alta las zonas

² **Canícula:** Período dentro de la época lluviosa durante el cual no se presentan lluvias (aparente verano), con mucho sol y fuerte calor.

de mayor elevación orográfica: cordilleras, cadenas volcánicas, entre otros. Las zonas que registran menores rangos de precipitación se encuentran en las partes bajas como los valles. Los meses en los que la radiación solar es mayor se presenta una reducción en las lluvias, denominada canícula.

2.6.3 DEFINICIÓN DE CUENCA Y CAUDAL

Es importante además definir los términos cuenca y caudal, los cuales son relevantes cuando se quiere conocer las características hidrológicas de una zona, máxime si ésta está siendo afectada por problemas de socavación, o cuando se quiere desarrollar una obra civil.

2.6.3.1 CUENCA

Zona de la superficie terrestre en donde si fuera impermeable las gotas de lluvias que caen sobre ella tienden hacer drenadas por sus sistemas de corrientes (ríos, quebradas) hasta un mismo punto de salida.

La región que alimenta o drena a través de un sistema de ríos, es parte de un sistema que puede clasificarse de acuerdo a la clase de ríos que los alimentan. En este sentido, un río de primer orden es aquel que no tiene tributarios debido a que solamente conduce el agua que recibe de un nacimiento o de la lluvia. Un río de segundo orden es aquel que se alimenta por ríos de primer orden (Ver Figura N°2.18). Adicionalmente existen cuencas abiertas y cerradas. En una abierta, el río que recibe o drena las aguas, las descarga superficialmente en otro cuerpo de agua. En una cuenca cerrada o endorreica no hay salida o descarga superficial, el agua converge hacia un depósito superficial (lago).

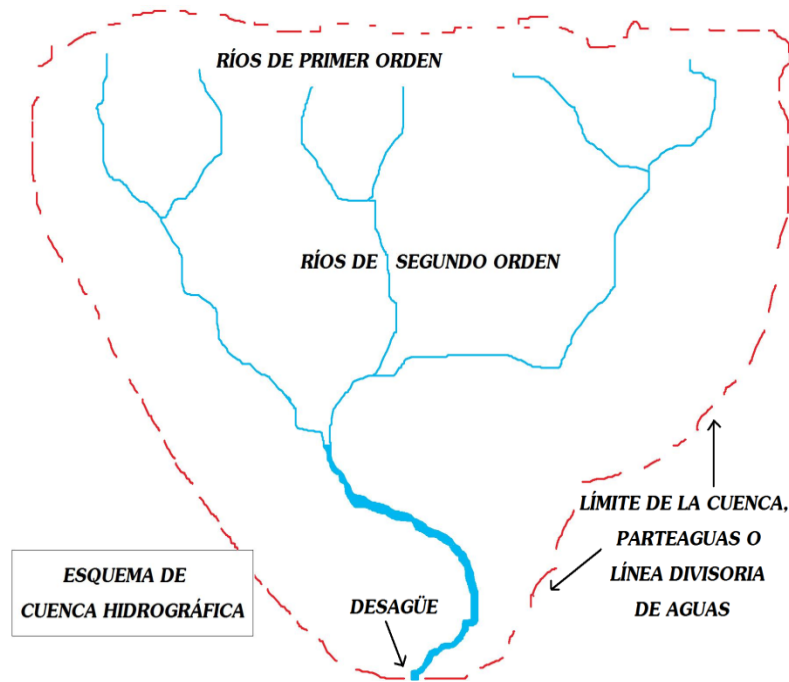


FIGURA N°2.18: Esquema de una Cuenca.

2.6.3.2 CAUDAL

Se le llama caudal a la cantidad de agua que pasa por un punto durante un tiempo determinado, siendo las unidades más usuales para expresar caudales: l/s, m³/s, gal/min, entre otros. Los cauces de los ríos se caracterizan por llevar caudales irregulares a lo largo del año, además durante la ocurrencia de fenómenos climatológicos como huracanes, tormentas tropicales y otros, pueden llegar a sobrepasar su caudal medio. En ocasiones las corrientes alcanzan altas velocidades que además de los desbordamientos que se pueden presentar tienen un poder erosivo realmente alto y lleva asociado el socavamiento de los márgenes del río. Estas variaciones tan grandes se dan entre época de verano y de invierno, pero pueden darse también a escala de semanas o días.

2.6.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La escorrentía superficial es el nombre que se le da al flujo o lámina de agua lluvia, que circula sobre la superficie en una cuenca, y es un componente importante del ciclo del agua. Normalmente se considera a la escorrentía como la diferencia entre la precipitación, y la evapotranspiración real y la infiltración hacia el suelo.

En zonas áridas según la teoría de Robert E. Horton (1945), la escorrentía superficial se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo, también por lluvias torrenciales, y en zonas con elevada y constante pluviosidad donde el suelo está saturado, la precipitación producirá casi inmediatamente una escorrentía superficial según la teoría de saturación donde la escorrentía se forma cuando se ha saturado el suelo con agua. La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial, se agrava más en suelos poco permeables y desprotegidos de cobertura vegetal.

La urbanización aumenta la escorrentía superficial, al crear superficies más impermeables, como pavimentos y edificios, que no permiten la infiltración del agua hasta el acuífero, en vez de infiltrarse al suelo, el agua es forzada directamente hacia corrientes o drenajes, donde la erosión y sedimentación pueden ser problemas importantes, incluso cuando no hay inundación. El aumento de escorrentía reduce la recarga de agua subterránea, bajando así la capa freática y empeorando las sequías, sobre todo para los agricultores y quienes dependen de pozos de agua. Cuando hay contaminantes antropogénicos disueltos o suspendidos en la escorrentía, el impacto humano se amplía. Esta carga de contaminantes puede alcanzar a diversas aguas receptoras como corrientes, ríos, lagos, estuarios y océanos, cambiando la química del agua en estos sistemas y en sus ecosistemas relacionados.

Se considera escorrentía superficial urbana al agua proveniente de la lluvia la cual corre sobre las calles, quebradas y ríos de una ciudad. El agua que naturalmente es un recurso que da vida, se convierte en causa de destrucción y muerte por la alteración que el ser humano le hace a la naturaleza, debido al incremento de las zonas urbanas a causa del crecimiento poblacional. Así también por razones económicas, culturales y sociales, muchas personas viven en las riberas de los ríos y quebradas en condiciones precarias, y ante el peligro de desastre al estar expuestas constantemente a fenómenos que ocurran en las corrientes y sus márgenes, puesto que el área hidráulica natural se ve modificada. Las quebradas existentes conducen un caudal considerable de descarga de aguas lluvias de las urbanizaciones que se encuentran dentro de sus cuencas, además en sus márgenes se encuentran comunidades permanentes que son altamente vulnerables a desastres por falta de obras de protección y por el suelo mismo que está propenso a erosionarse.

El proceso de arranque, transporte y depósito de materiales sólidos así como los problemas de desbordamiento, deslizamientos y derrumbes provocados por el régimen torrencial hacia las quebradas, se debe en gran medida al hecho de construir en sectores inestables, donde se reduce la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y es encausada en tuberías que terminan en colectores de descargas las cuales muestran su poca capacidad como también la falta de obras adecuadas que reduzcan la velocidad del agua, ya que las pendientes longitudinales de los drenajes naturales se vuelven muy sensibles a las lluvias de alta intensidad y corta duración, y repercuten en el arranque de partículas terminando en formación de Cárcavas.

La mayoría de los ríos han sufrido un deterioro sustancial en sus cursos, de manera que cuando han sido expuestos a la acción de los fenómenos atmosféricos naturales para la región, han ocasionado un incremento de los caudales de forma repentina, generando

excesos de agua debido a las variaciones de los tiempos de respuesta para las intensidades de las lluvias registradas. Todo ello conduce a tener poca infiltración, una mayor escorrentía superficial y mayor degradación del suelo, a veces facilitadas por el mal diseño de las infraestructuras urbanas.

Las socavaciones en las descargas hacia los ríos son fenómenos frecuentes en algunas ciudades, se producen en los puntos donde no se ha realizado una obra adecuada bajo las condiciones particulares de cada zona; en la estación lluviosa, es cuando se ponen a prueba si la capacidad de las descargas es la requerida, pues es cuando se presentan los mayores volúmenes de agua. Las crecidas inicialmente son lentas y cuando se excede la capacidad del cauce, las velocidades se aceleran convirtiéndose en un flujo de rápido movimiento. Dado que ciertos sectores muestran estrangulamientos en la sección sin considerar ninguna estructura de amortiguación para los caudales producidos, se vuelven zonas de alto riesgo.

Las Cárcavas cada año ocasionan pérdidas económicas y daños materiales como consecuencia de la pérdida de suelo, derrumbes o deslaves que inciden directamente en viviendas, esto debido a las características de las descargas que usualmente tienen poca capacidad para el caudal transportado, además por sus grandes pendientes y no siendo las obras adecuadas, llevan a que el suelo se erosione en Cárcavas. La cantidad de precipitación por unidad de tiempo (intensidad de lluvia) está directamente relacionada con el aumento de los caudales, cuando las intensidades de lluvia superan cierta cantidad en milímetros, en un lapso de tiempo corto, se ocasionan corrientes de agua capaces de producir inconvenientes. Es de vital importancia pues, poder predecir los caudales producidos para cada intensidad de lluvia y sus consecuencias, tanto en el área que pudiera abarcar como en los niveles de agua que alcanzaría la crecida.

2.7 GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS VOLCÁNICOS

La geología al igual que la hidrología es de suma importancia cuando se quieren conocer las características del suelo de un área, pues a partir de ellas se pueden crear las soluciones (obras civiles) más adecuadas y que estén acorde a las condiciones del lugar y de los materiales. A continuación se describen las características geológicas que se encuentran en suelos de origen volcánico.

2.7.1 GEOLOGÍA TÍPICA DE UN CONO VOLCÁNICO

La parte central de un cono volcánico está formado por un domo de lavas de andesita-dacita y aglomerados. Alrededor del domo de lavas se encuentran aglomerados piroclásticos (bloques y ceniza), depósitos de flujos, de lahares y depósitos fluvio-volcánicos (Donnelly, 2007). Un volcán está compuesto principalmente por andesita extrusiva. El magma de andesita cuando es arrojado explosivamente por el volcán también genera flujos piroclásticos y depósitos de ceniza típicos de la actividad explosiva.

2.7.1.1 MATERIALES QUE CONFORMAN LOS CONOS DE LOS VOLCANES

En la Figura N°2.19 se muestra la geología típica de un cono volcánico, la cual está compuesta por los siguientes elementos:

- **Núcleo Ígneo:** Domo de lava de andesita-dacita. Muy resistente con múltiples grupos de discontinuidades y permeabilidad dependiente de las fisuras. Generalmente, es una roca dura pero cuando se meteoriza pierde parcialmente su resistencia. En el sector del núcleo se pueden presentar caídos, inclinaciones y deslizamientos, los cuales pueden eventualmente generar algunos flujos.

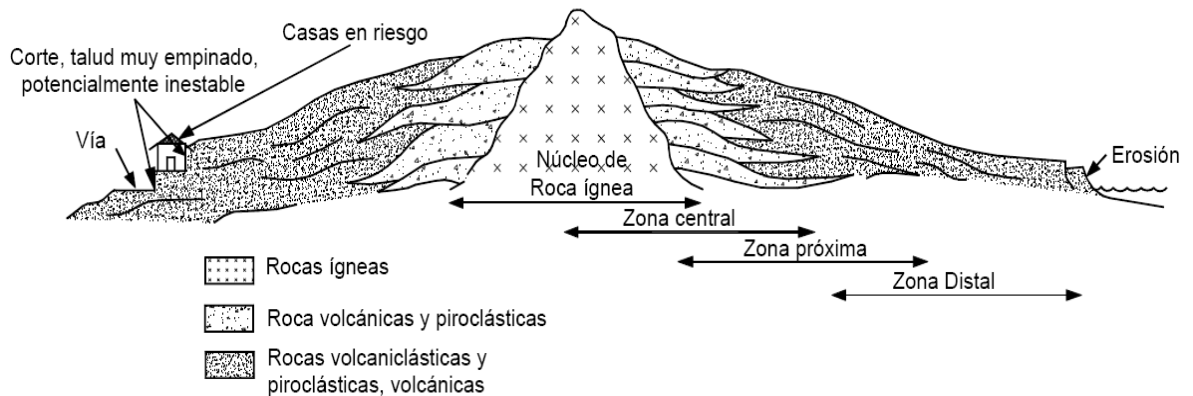


FIGURA N°2.19: Geología típica de un cono volcánico (Donnelly, 2007).

Fuente: Capítulo 9, La Geología, Deslizamiento, Análisis Geotécnico, Jaime Suárez.

- **Roca Piroclástica de Grano Grueso:** Tobas, depósitos de cenizas y lapilli, breccias y aglomerados. Generalmente son sueltos y parcialmente consolidados, mal graduados, con partículas angulares a sub-angulares, porosas, con permeabilidad moderada y bloques de 3 a 4 metros en tamaño. Se pueden presentar deslizamientos de residuos y lahares sobre los depósitos recientes, igualmente puede ocurrir reptación³ y erosión.
- **Rocas Finas Piroclásticas:** Tobas, piedra pómez, lapilli, cenizas y bases gruesas. Son rocas sueltas a parcialmente consolidadas, mal graduadas, porosas con partículas angulares a sub-angulares, permeabilidad moderada con presencia de varios bloques de gran tamaño.
- **Mezclas de Depósitos Gruesos y Finos:** Litologías variables de mezclas de granos gruesos de depósitos piroclásticos. Tobas re TRABAJADAS, depósitos de lahar, paleosuelos e intercalaciones de cenizas. Son depósitos muy variables y complejos, desde

³ **Reptación:** Es un movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor o menos.

sueltos a consolidados, pobremente graduados, porosos, permeabilidad alta a baja, partículas angulares y sub-angulares con cantos y bloques, y algunos depósitos cohesivos de ceniza consolidada. Niveles freáticos colgados y nacimientos de agua. Las arcillas presentes pueden ser expansivas y licuables en el caso de sismos. Se pueden presentar deslizamientos de residuos, flujos y lahares, reptación y erosión, movimientos de los bloques al excavar para carreteras.

- **Cenizas de Grano Fino:** Son cenizas con piedra pómez ocasional intercalada con depósitos finos piroclásticos sucesivamente finos hacia arriba. Granos de tamaño medio a fino, sueltos, débiles y moderadamente gradados, relativamente esféricos y con permeabilidad baja a moderada.

Niveles freáticos colgados y nacimientos de agua, pueden presentar zonas materiales compresibles con posibilidad asentamientos diferenciales importantes. Aparecen paleo-canales rellenos depósitos volcánicos. Se pueden presentar deslizamientos de residuos, el lavado de suelos y deslizamientos al realizar excavaciones.

2.7.2 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

Las rocas volcánicas o piroclásticas también conocidas como rocas ígneas extrusivas, son producto de la cristalización de los materiales expulsados por los volcanes. Las propiedades ingenieriles de las rocas volcánicas dependen del grado de solidificación y de acuerdo a ésta presentan una variedad de resistencias y permeabilidades. El principal problema de las rocas volcánicas es su fácil desintegración al secarse y humedecerse, y la presencia de arcillas activas como la montmorillonita, como subproducto del proceso de meteorización. Las principales rocas volcánicas son la riolita, la andesita, el basalto y las tobas. La microestructura es muy variada de acuerdo a su proceso de formación.

2.7.2.1 RIOLITA

La riolita es el componente exclusivo de grano fino del magma granítico que escapó de la superficie a través de una erupción volcánica y presenta algunas características similares a un granito. La roca líquida pudo haber emergido formando una masa de riolita que se enfrió y solidificó. Muestra un bandeamiento formado por el flujo viscoso de la lava durante la destrucción. Los megacrystales de cuarzo o feldespatos le dan a las riolitas diferencias de carácter y comportamiento.

2.7.2.2 TOBAS

Las tobas volcánicas son rocas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción. Son materiales muy porosos y ricos en vidrio. En ocasiones las tobas presentan depósitos de materiales arcillosos, expansivos o arcillas inestables.

2.7.2.3 ANDESITA

La andesita es una roca de grano fino, volcánica, que se le encuentra como flujo de lava y ocasionalmente, como pequeñas inclusiones. Generalmente, es de color marrón. Tiene básicamente la misma composición de la diorita, pero tiene un grano más fino y puede contener algunos cristales de plagioclasa de varios milímetros de largo.

2.7.2.4 BASALTO

El basalto es una roca ígnea básica de grano fino, formada por la erupción volcánica que se cristaliza en forma muy rápida. El tamaño de los cristales es menor de 0.05 mm y para observarlo se requiere microscopio. La composición mineral del basalto es aproximadamente mitad piroxeno y mitad plagioclasa, hasta con 5% de óxido de hierro.

2.7.3 ESTRATIGRAFÍA DE DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DEL AMSS

Los depósitos volcánicos que yacen en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), provienen de los centros eruptivos, Coatepeque, Volcán de San Salvador, Plan de La Laguna y la caldera de Ilopango, éstos en diferentes períodos de tiempo lanzaron materiales que luego se depositaron, algo que puede evidenciarse por la estratigrafía del suelo. Cada evento eruptivo lanzó piroclastos y coladas de lava, cuyo espesor en los depósitos decrece conforme se aleja del foco eruptivo. En la Figura N°2.20 se muestran de manera relativa los productos de las distintas erupciones, indicando la fuente de emisión y la distribución espacio-temporal de estos en el AMSS.

En el esquema, el borde occidental de Ilopango se utiliza como referencia de punto de partida de sus tefras, mientras que el borde oriental se utiliza para Coatepeque y el cráter para el complejo volcánico San Salvador y Plan de la Laguna. La separación en la horizontal de cada división equivale a 5 km. Las edades absolutas están a la derecha y con “ka1” se señalan las edades calculadas por la relación de velocidad de asentamiento en el fondo del Océano Pacífico de América Central Kutterolf et al (2007).

2.7.4 SECTORES GEOLÓGICOS

Además de las ignimbritas pumíticas predominantes en el oriente del AMSS, el suelo en el poniente presenta otro tipo de estratificación, estos depósitos que debido a la presencia del graben Central, de las estructuras volcánicas establecidas dentro de ese graben y del colapso caldérico del Volcán San Salvador, se han diferenciado en tres zonas geológicas denominadas: Picacho, Boquerón y Bálsamo, las cuales están produciendo cada una, cierta influencia en el comportamiento geológico de la zona.

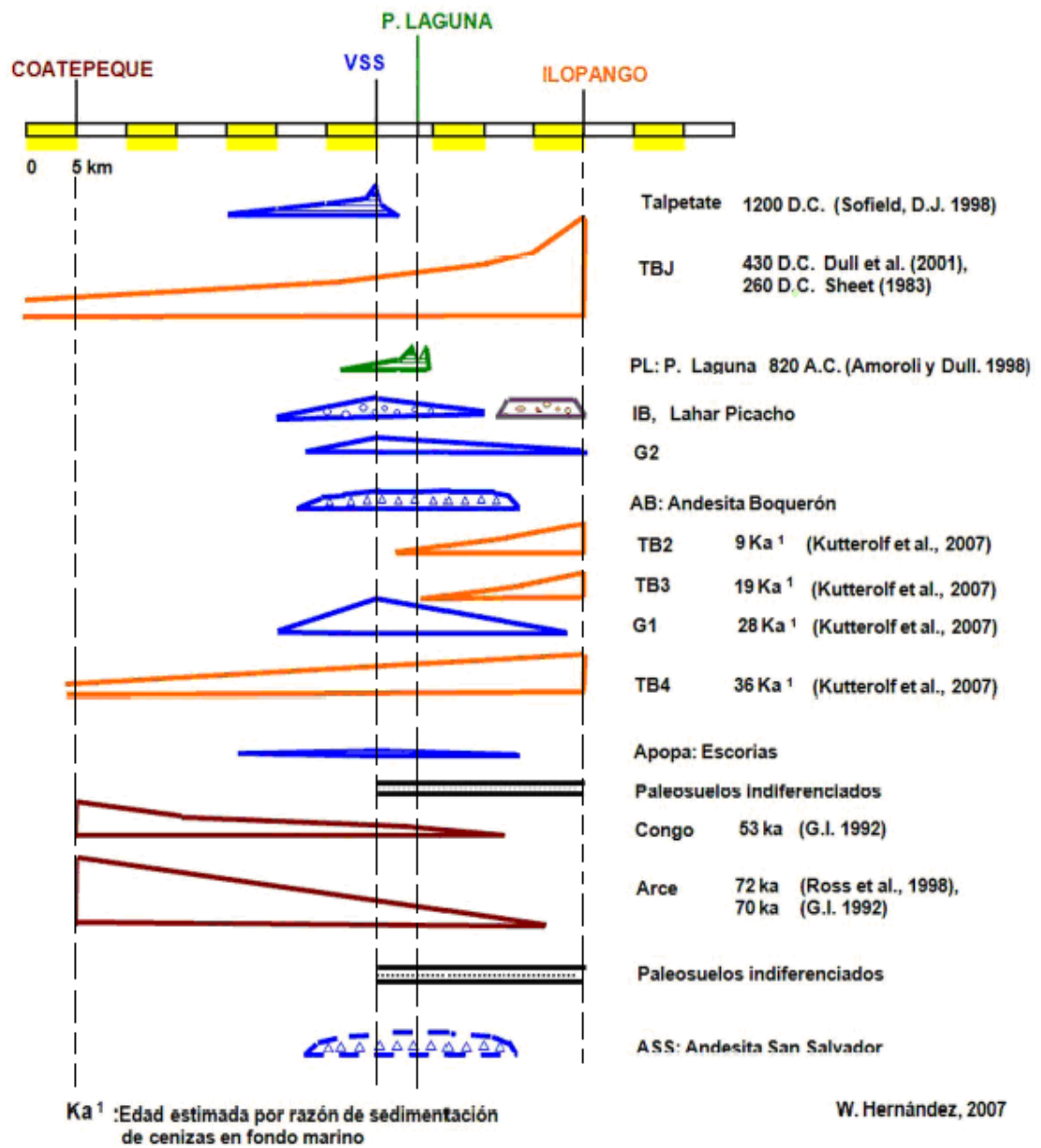


FIGURA N°2.20: Esquema de la distribución espacio-temporal de los distintos materiales volcánicos en el AMSS.

FUENTE: Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del Área Metropolitana de San Salvador

2.7.4.1 ZONA PICACHO

Esta zona está comprendida por la porción norte remanente del viejo edificio del volcán San Salvador. Los valles profundos en “V” son característicos e indicadores de lahares que se desprendieron de esa ladera y de manera recurrente se acumularon al pie de la misma, el último ocurrió en septiembre de 1982. Los ríos Urbina y Tomayate que corren de sur a norte y ubicados al oriente de esta ladera, se comportaron como barreras de las lavas que surgieron del antiguo edificio del San Salvador. Por otro lado, la zona del Picacho sirve a su vez de barrera para las lavas del cráter Boquerón. (Ver Figura N°2.21).

2.7.4.2 ZONA BOQUERÓN

Es la zona central comprendida entre la ladera del Picacho y la del Bálsamo. A lo largo de esta estrecha zona topográficamente más deprimida, se han canalizado las coladas lávicas y flujos piroclásticos del Boquerón y también del antiguo edificio San Salvador, cuyos desplazamientos han sido limitados por el río Acelhuate que ha servido como barrera. Las lavas del Boquerón no se encuentran en la zona del Picacho ni en la zona del Bálsamo. El sector comprendido entre Santa Tecla y las colonias San Benito-Escalón-Flor Blanca, por estar muy cercano al cráter Boquerón, cuentan con muchos flujos de lavas de las distintas erupciones del Boquerón, lo cual, favorece para la conducción y almacenamiento de agua subterránea. Debido a la presencia de esas lavas bajo las tefras TBJ, IB y G2, en esta zona no se producen cañones en las quebradas, ya que las lavas resistentes impiden la profundización del cauce.

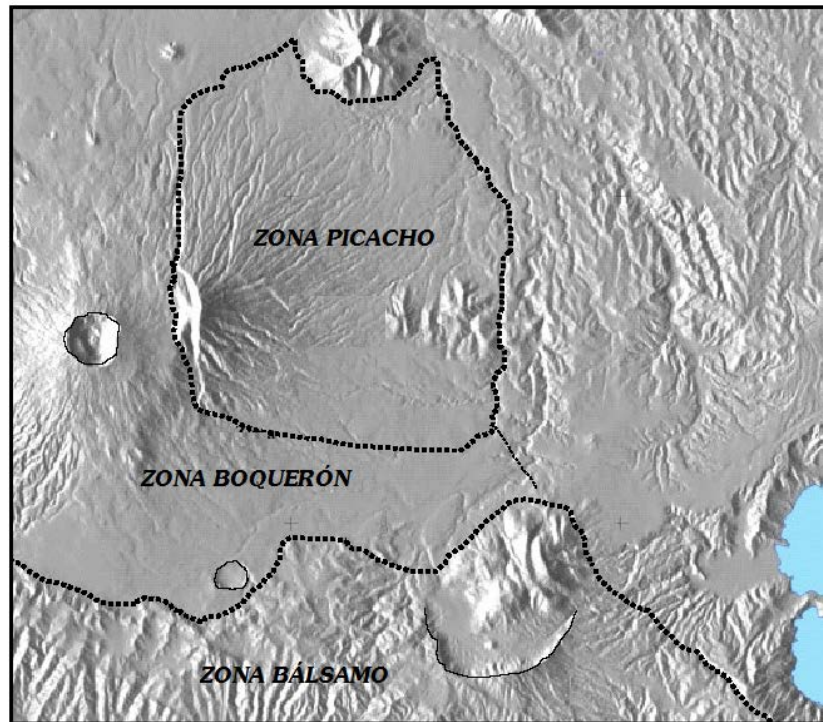


FIGURA N°2.21: El modelo de elevación digital muestra las tres zonas geológicas en la proximidad del volcán de San Salvador.

FUENTE: Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del AMSS.

2.7.4.3 ZONA DEL BÁLSAMO

Está ubicada en la parte sur y topográficamente más elevada del AMSS que comprende la cordillera homónima. Se comportó como barrera para las coladas lávicas del antiguo edificio del San Salvador y actualmente para las del Boquerón. Las coladas lávicas presentes en esta zona pertenecen a otros eventos mucho más antiguos que a la misma formación del complejo volcánico San Salvador. Esta zona por contener las formaciones más antiguas del AMSS, ha generado suelos rojizos, bastante desarrollados cuyas arcillas no han sido aún estudiadas y caracterizadas. Las cenizas de erupciones del Holoceno (10,000 años) de varios centros eruptivos, recubren esta

cordillera, sin embargo, ante eventos de lluvias extremas o sismos importantes, en esta zona se producen deslizamientos rotacionales con daños recurrentes a las poblaciones, infraestructura vial, red eléctrica y otros servicios. La zona Picacho corresponde a la ladera relictas del antiguo edificio volcánico donde se originan lahares recurrentes. La zona Boquerón situada entre las zonas Picacho y Bálsamo corresponde al bloque estructural más deprimido, y la zona del Bálsamo corresponde al alto estructural y límite sur del graben Central.

2.7.4.4 CALDERA DE ILOPANGO

La Caldera de Ilopango es una formación de origen volcánico situada en el centro de El Salvador, entre los departamentos de San Salvador, Cuscatlán y La Paz, al margen Oriental del AMSS (Ver Figura N°2.22). La caldera tiene una superficie de 75 km² con forma elíptica (superficie del lago de 10 km x 8 km y desde las cimas del borde 13 km x 10 km, aproximadamente) en cuyo interior se ha formado el lago homólogo después de muchas erupciones que han tenido lugar a lo largo de su historia.

El borde occidental de la caldera de Ilopango está situado a 22 km del cráter del Boquerón, entre los cuales yace la mayor parte del AMSS. La pared norte tiene 150 a 200 m de altura respecto a la superficie del lago, mientras que la pared sur está formada por un escarpe de falla que tiene hasta 500 m de altura y coincide con el borde sur del Graben Central, además se da la máxima altura del borde la caldera, siendo 1,002 msnm. El último ciclo eruptivo de la caldera de Ilopango está compuesto por las erupciones plinianas de Tierra Blanca que produjeron los depósitos de caída de ignimbritas pumíticas denominados de la más antigua a la más joven como TB4, TB3, TB2 y TBJ.



FIGURA N°2.22: Mapa del Lago de Ilopango y sus alrededores.
FUENTE: Google Earth.

2.8 COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Debido a la cercanía del volcán San Salvador y la caldera de Ilopango, los productos de ambos centros eruptivos se encuentran intercalados, situación que es más evidente al pie de la ladera del volcán San Salvador, donde lavas del Boquerón tienen una cobertura de aproximadamente 7 m de espesor de tefras del Ilopango y del mismo complejo San Salvador, en el sector de la colonia San Benito.

Las tefras TBJ se adelgazan ladera arriba del volcán San Salvador pero hacia el oriente de la capital alcanzan espesores en torno a 60 m (Soyapango e Ilopango), donde cubren otras tefras de la caldera de Ilopango que en conjunto superaran los 100 m de espesor. Los depósitos de Tierra Blanca (TBJ, TB2, TB3 y TB4), en general, tienen baja consolidación, bajo peso específico, mientras que los depósitos más antiguos y subyacentes a esa secuencia, son ligeramente más consolidados. Sin embargo, debido a que el contraste de impedancia entre estos depósitos no es muy marcado, la respuesta al paso de una onda sísmica es similar. La baja consolidación de estos depósitos

provocan una reducción en la velocidad con la que las ondas atraviesan los depósitos y por tanto, un incremento en la amplitud de los mismos (Salazar, W., et al, 2007), dando como resultado una mayor sacudida del terreno en esos depósitos piroclásticos. Situación contraria ocurre cuando una onda sísmica atraviesa una serie de lavas densas, duras y de gran espesor, donde la velocidad de las ondas sísmicas se incrementan pero con baja amplitud y alta frecuencia, condición que favorece la atenuación de la energía sísmica.

Lo anterior ocurre en la ladera oriental del Boquerón, donde existen varias capas de andesitas básicas, con espesores importantes, cuyos desplazamientos no son iguales para todas las coladas lávicas y las de mayor desplazamiento encuentran la barrera del río Acelhuate. Además, las lavas más antiguas que TB4 juegan un papel importante como atenuador que se suma a las lavas más del Boquerón. En general se puede decir que ante la acción de un sismo la amplificación de las ondas sísmicas tiende a aumentar de la ladera del Boquerón en dirección hacia Soyapango.

El sismo del 10 de octubre de 1986 de magnitud Mw 5.4 ocasionó daños severos a las edificaciones sobre esos materiales en el centro de San Salvador, donde las tefras tienen espesores importantes, contrario lo ocurrido en sectores como las colonias Escalón, Dolores y Costa Rica, ubicadas geológicamente en condiciones más favorables para resistir impactos por sismos.

2.9 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO

Las laderas de los conos volcánicos son muy susceptibles a la erosión. Del Potro y Hurlimann (2008) presentan una clasificación de los materiales que conforman los conos volcánicos, desde el punto de vista del comportamiento geotécnico (Tabla N°2.2).

COMPORTAMIENTO PRE-PICO	UNIDAD GEOTÉCNICA	SUB-UNIDAD GEOTÉCNICA
Roca	Lava	Fresca
		Alterada
	Breccia Autoclástica	
	Roca Piroclástica	Fuertemente cementada (Fresca o Alterada)
Suelo		Débilmente cementada / Trabada
	Suelos Volcánicos	No Cohesivos
		Cohesivos

TABLA N° 2.2: Clasificación geotécnica de los materiales volcánicos (Del potro y Hurlimann, 2008).

FUENTE: Capítulo 9, La Geología, Deslizamiento, Análisis Geotécnico, Jaime Suárez.

2.9.1 SUSCEPTIBILIDAD DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS A LOS DESLIZAMIENTOS

Las rocas volcánicas al igual que las rocas sedimentarias blandas, son muy susceptibles a sufrir deslizamientos en el caso de sismos, la combinación de cementación débil, pobre consolidación, alta porosidad y saturación, hace que los materiales volcánicos sean especialmente vulnerables a los sismos (Bommer y Rodríguez, 2002). Las rocas volcánicas se meteorizan con menor facilidad y los mantos de meteorización son menos profundos, generalmente menores de 20 metros. El producto final de la meteorización son suelos residuales arcillo-limosos con arena cuarzosa. Al ser menos profundos se pueden saturar totalmente de manera más fácil que las rocas ígneas intrusivas. La susceptibilidad de los materiales volcánicos a los deslizamientos es explicada por Frattini y otros (2004) de la siguiente forma:

- Los depósitos piroclásticos están compuestos de una serie de capas con cambios abruptos en la conductividad hidráulica, tanto horizontal como verticalmente. Los coeficientes de permeabilidad (K_s) pueden variar desde 10^{-3} m/s hasta 10^{-6} m/s.
- Aparecen capas de materiales sueltos y las fallas tienden a generarse en la base de estos horizontes cenizos.
- Existen una gran cantidad de discontinuidades asociadas con la estratigrafía (Ejemplo: discontinuidades laterales) y discontinuidades morfológicas de la cubierta piroclástica.
- Se presentan empozamientos de agua.
- Los materiales en las capas inferiores son generalmente de menor resistencia que en las capas superiores.
- Los suelos volcánicos tienen contenidos altos de alófanos⁴ con baja densidad, alta porosidad, capacidad muy alta de retención de agua, alto límite líquido y baja plasticidad, al igual que cambios irreversibles al secarse (Esposito y Guadagno, 1998; Maeda y otros, 1977). Además, los suelos volcánicos muestran comportamiento tixotrópico relacionado con la presencia de arcilla de bajo grado de cristalinidad (Terribile y otros, 2000).
- La infiltración de agua relacionada con la lluvia aumentan en forma significativa el peso unitario de los materiales volcánicos debido a su alta porosidad.

⁴ El **alófano** es un aluminio-silicato complejo pobremente cristalino. Suele estar presente en Andisoles, e imparte propiedades específicas al suelo.

2.10 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE CÁRCAVAS

Las obras de solución para Cárcavas están integradas por una serie de elementos que incluye: obras para el control de escorrentía, control del cuerpo de la Cárcava y protección de la superficie del talud. El principio fundamental del control de la erosión en Cárcavas es determinar la causa directa del proceso y el mecanismo de desarrollo. El segundo principio es el de encontrar la forma de restaurar el balance y crear condiciones para la estabilización del proceso.

Cuando el fenómeno erosivo es de baja magnitud o cuando se diagnostica de manera temprana pueden ser empleadas en su control medidas que no demandan grandes esfuerzos económicos, donde pueden implementarse practicas menores, que integran sencillas técnicas de intervención del terreno, atendiendo adecuadamente los agentes erosivos. En otros casos, puede ser el fenómeno erosivo de gran magnitud o encontrarse en un estado de desarrollo tal, que sea necesario hacer un tratamiento correctivo de mayores demandas; es éste el caso de áreas muy afectadas por procesos de carcavamiento, donde no será suficiente la incorporación de material vegetal, sino que además deberán ser consideradas otras variables.

A continuación se detallan algunas de las soluciones que se les puede aplicar a la estabilización de Cárcavas.

2.10.1 MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍAS

En el diseño de obras de control de escorrentía debe tenerse en cuenta las características de las lluvias, las áreas aferentes, la topografía y las características de la geología, infiltración y erosionabilidad de los suelos. Es importante que las obras de

manejo de aguas de escorrentía sean diseñadas con secciones y pendientes suficientes que impidan la concentración de aguas que pudieren inducir la formación de Cárcavas.

2.10.1.1 DRENAJE SUPERFICIAL

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud, reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del talud. El agua de escorrentía debe en lo posible, desviarse antes de que penetre el área cercana a la corona del talud. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud o canales de desviación. No se recomienda en problemas de taludes la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

2.10.1.2 CAUDAL DE ESCORRENTÍA

La escorrentía recogida depende de varios factores, los cuales incluyen: Intensidad de la lluvia, áreas de drenaje, pendiente y longitud de los taludes a drenarse, naturaleza y extensión de la vegetación o cultivos, condiciones de la superficie y la naturaleza de los suelos subsuperficiales.

Las obras de control de escorrentía deben diseñarse para recibir los caudales de una lluvia predeterminada con un periodo de retorno, de acuerdo a la importancia de la obra. Además se recomienda para diseño de drenajes en taludes, la utilización del método Racional para calcular las cantidades de agua recogida, debido a que los caudales calculados con esta fórmula tienen intrínsecamente un factor de seguridad mayor que los otros métodos.

2.10.1.3 TIPOS DE CANALES

Los canales son estructuras que interceptan la escorrentía y la conducen lateralmente (Ver Figura N°2.23). Los canales interceptores se emplean como zanjas en la corona de taludes y Cárcavas de erosión o en sitios intermedios. Además se pueden utilizar como bermas o bancas para disminuir la longitud del canal erosionado y dividir la escorrentía en volúmenes fácilmente manejables. Estos canales o bermas deben ser recubiertos para protección contra la erosión o posibles deslizamientos.

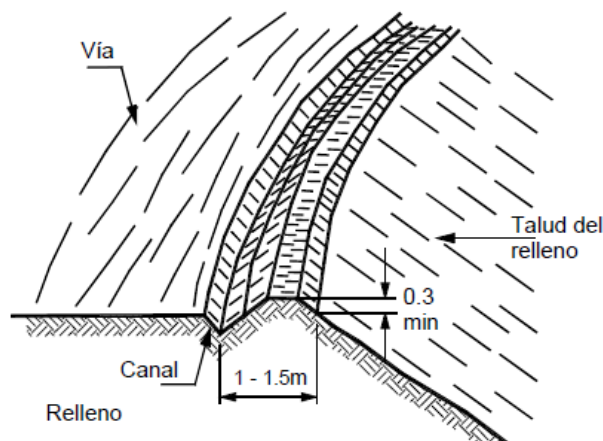


FIGURA N°2.23: Canal de protección en la corona del relleno de una vía.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.10.1.3.1 CANALES DESVIADORES DEL FLUJO ARRIBA DEL TALUD

Son canales que se construyen arriba del corte de la vía o estructura, con el objeto de desviar completamente la escorrentía y alejarla lo más posible de la estructura o talud. Estos canales ayudan a disminuir el riesgo de surcos y Cárcavas sobre la superficie del talud. Se recomienda no construir el canal desviador muy cerca del borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía del deslizamiento en cortes recientes o de una nueva superficie de falla (movimiento progresivo) en deslizamientos ya producidos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe. Así también, los canales desviadores tienen que ser totalmente impermeabilizados y debe proveerse

una suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. La recomendación de impermeabilizar se debe adicionar con un correcto mantenimiento. Las dimensiones y ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo a la topografía de la zona y al cálculo previo de caudales colectados. Generalmente, se recomienda una zanja rectangular de 60 centímetros como mínimo, de ancho y 50 centímetros de profundidad (Ver Figura N°2.24), se debe comprobar para cada caso en particular que el canal diseñado es de suficiente capacidad.

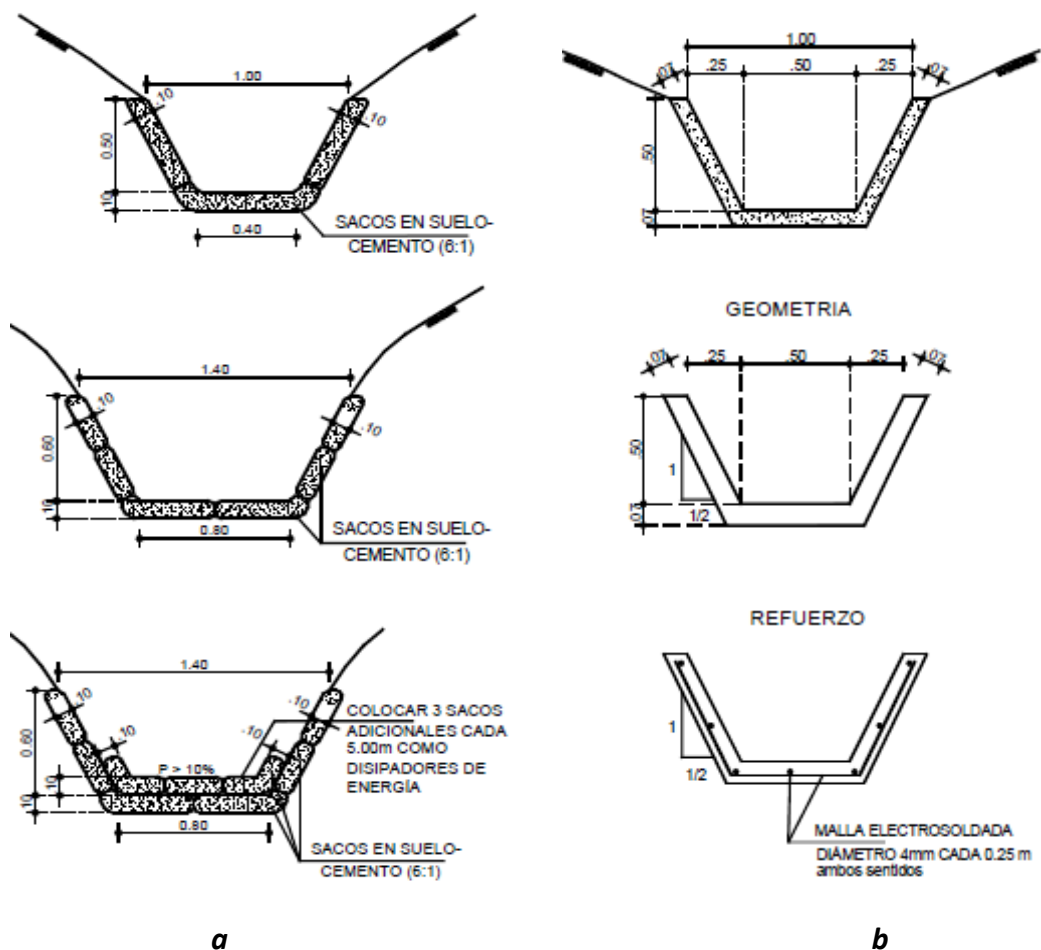


FIGURA N°2.24: Canales revestidos: a) En suelo cemento; b) En concreto.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.10.1.3.2 DIQUES EN LA CORONA DEL TALUD

Estas obras consisten en montículos de tierra o pantallas que se colocan en la parte superior del talud (Ver Figura N°2.25), con el objeto de impedir el paso de la escorrentía hacia la superficie del talud. Este es un método muy utilizado en rellenos de carreteras. Se recomienda que vaya acompañado de un canal superior.

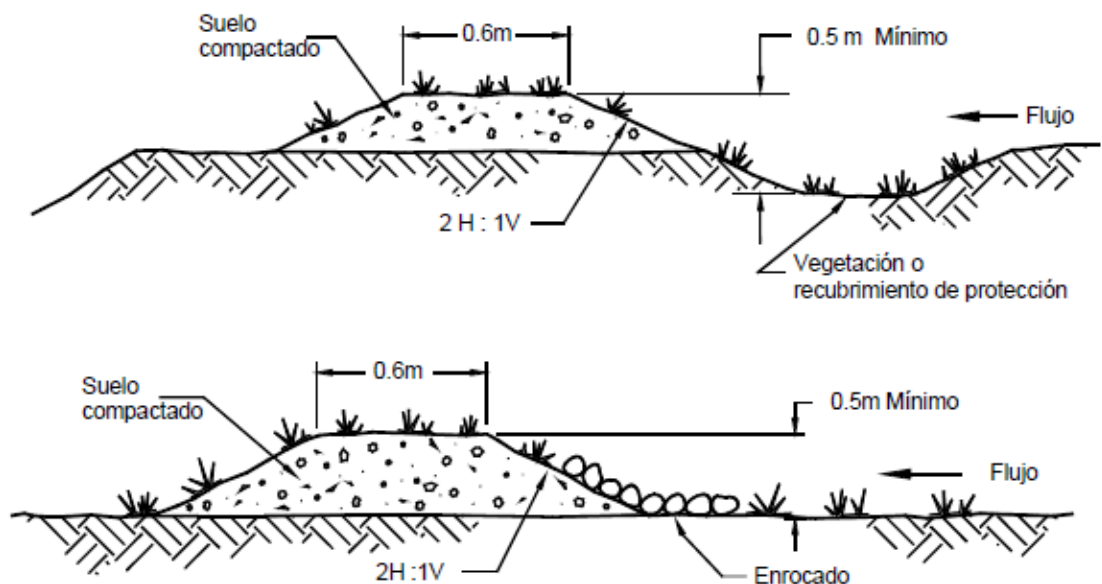


FIGURA N°2.25: Dique para el desvío de aguas de escorrentía.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

2.10.1.3.3 CANALES INTERCEPTORES O CORTACORRIENTES

Los cortacorrientes son canales transversales al talud, espaciados a intervalos para recolectar el agua de escorrentía y evitar la formación de corrientes a lo largo de la pendiente principal (Ver Figura N°2.26). La construcción de canaletas a través de un talud intercepta el agua e impide que su velocidad aumente y la lleve a un lugar seguro. Estos cortacorrientes deben estar protegidos contra la erosión utilizando revestimientos en sacos de suelo cemento o vegetación. Las aguas recolectadas por los

cortacorrientes son llevadas a unos canales colectores localizados generalmente a un lado del talud. Los canales a la mitad de talud deben tener una pendiente que impidan la sedimentación de materiales. Es muy común que estos canales se construyan con pendientes muy bajas y al taponarse produzcan Cárcavas de erosión localizadas.

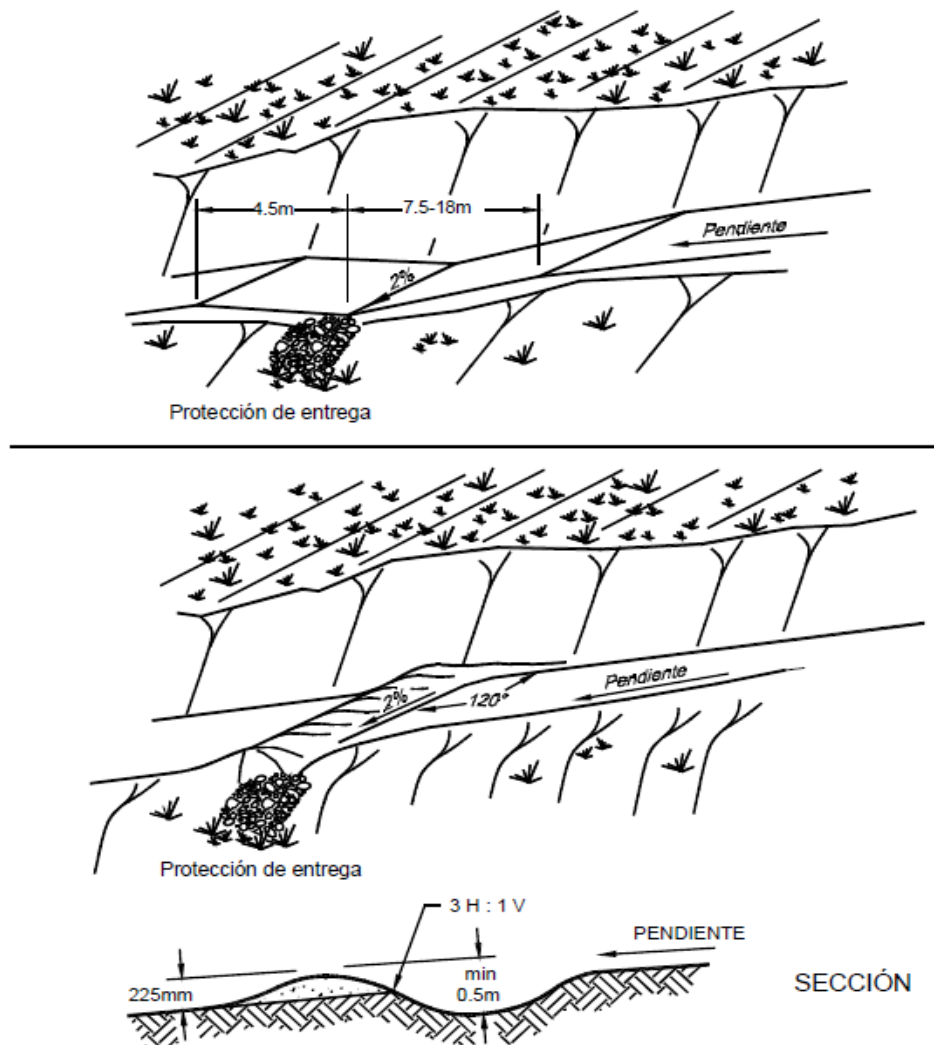


FIGURA N°2.26: Diagrama ilustrativo de la función de un cortacorriente.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Se recomienda construir canales interceptores en todas y cada una de las bermas intermedias del talud. Estos canales deben revestirse apropiadamente conduciendo las

aguas a canales o graderías de disipación de energía. Las bermas deben ser lo suficientemente anchas para que exista un sobreebanco de protección para los canales, en el caso de producirse deslizamientos de las coronas de los taludes resultantes. Se debe comprobar para cada caso en particular que el canal diseñado es de suficiente capacidad.

2.10.1.4 DISEÑOS DE CANALES

En el diseño de canales se debe tener en cuenta los siguientes elementos:

- **Localización.** Los canales deben localizarse en tal forma que intercepten la mayor cantidad de flujo a suficiente distancia de los sitios críticos para evitar amenazas de movimientos del canal.
- **Alineamiento.** Los canales deben construirse para permitir un paso suave del flujo. Deben evitarse los cambios fuertes de dirección o de gradiente.
- **Tamaño.** El tamaño de los canales debe ser suficiente para conducir el caudal de agua de diseño, con un factor de seguridad adicional.
- **Revestimiento.** Los canales deben revestirse con un material que pueda resistir las velocidades del agua.

Es muy importante para el correcto diseño de las obras de drenaje superficial, que se realice un estudio muy completo de la información hidrológica existente para determinar lo más exactamente posible la intensidad máxima esperada de la lluvia y los caudales generados. La mayoría de los diseños de obras de drenaje superficial en taludes que se realizan con procedimientos totalmente empíricos, dan como resultado obras insuficientes con secciones que no son capaces de manejar los caudales de agua que se concentran en las coronas de los taludes. La razón principal de esta falla es que

las intensidades de las lluvias, que en la zona tropical con frecuencia son superiores a 50 mm/hora, no son tenidas en cuenta.

2.10.1.5 CANALES COLECTORES O DISIPADORES

Luego que el agua ha sido recolectada por medio de los canales e interceptores, es entregada a canales de alta velocidad, generalmente en la dirección del talud que permita la evacuación de una manera segura, evitando la erosión del suelo. Se presentan dos tipos diferentes de canales: El canal rápido y el canal en gradería.

2.10.1.5.1 EL CANAL RÁPIDO

Se construye a una pendiente igual a la del talud y en ocasiones se le colocan elementos sobresalientes en su fondo para disipar energía. Este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de poca energía disipada. A lo largo de las canaletas se recomienda colocar elementos que produzcan gran rugosidad para generar flujo amortiguado y minimizar la velocidad a su pie. Generalmente se emplean gradas, bloques salientes de concreto o piedras enterradas en el concreto. El sistema de graderías es el más eficiente para disipar energía. El flujo en este tipo de canal es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente para permitir la salpicadura del flujo. En la ausencia de datos experimentales, los canales en gradería pueden diseñarse asumiendo una velocidad de 5.0 m/s a través de la sección mínima en la cabeza de cada grada.

El canal rápido se construye a una pendiente igual a la del talud, generalmente con forma de canal. A lo largo de las torrenteras se recomienda colocar elementos que produzcan alta rugosidad para generar flujo amortiguado y minimizar la velocidad del agua. Este sistema es muy utilizado para conducir las aguas recolectadas en un talud por ser el más económico.

Es importante que los canales incluyan elementos o estructuras para disipar la energía del agua. De acuerdo a las necesidades de disipación de energía del agua y a las condiciones para disipar la energía, entre las cuales se indican las siguientes:

- **Bloques de concreto o bloques de roca**

Sobresaliendo en el fondo y/o lateralmente en el canal. Son elementos que bloquean el flujo y ayudan en el proceso de disipación de energía del agua.

- **Rápidas escalonadas con tapa**

El sistema consiste en una rápida con una serie de tapas que interceptan los chorros de agua y facilitan la disipación.

- **Rápidas escalonadas con vertedero y pantalla**

Se fuerza un resalto hidráulico en el escalón utilizando un elevamiento o contravertedero y se coloca una pantalla para recibir el golpe del flujo.

- **Rápidas lisas con estructuras de disipación**

Son canales de fondo liso que conducen el agua al pie del talud o a una cañada. En estos canales el agua adquiere grandes velocidades y se requiere la construcción de una estructura de disipación o tanque de amortiguación en el pie del talud. Las estructuras de disipación también se pueden construir en sitios a lo largo del canal, de acuerdo a las condiciones topográficas e hidráulicas del canal.

- **Disipador de caída libre**

Consiste en un vertedero y contra-vertedero en los cuales se trata de producir un resalto hidráulico.

- **Disipadores por rugosidad**

Son canales rugosos que disipan energía, debido a la turbulencia causada por esa rugosidad. Comúnmente se construyen de piedra pegada con concreto, o de elementos prefabricados.

2.10.1.5.2 ESTRUCTURA EN GRADERÍA (DERRAMADEROS)

Son estructuras rápidas escalonadas las cuales están formadas por una serie de gradas o escalones dentro del canal (Ver Figura N°2.27). Este canal en gradas conduce el agua y al mismo tiempo se va disipando energía en cada uno de los escalones. El sistema de graderías es generalmente más eficiente para disipar energía que otros métodos de disipación. El flujo en este tipo de canal es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente para permitir la salpicadura del flujo.

En la ausencia de datos experimentales, los canales en gradería pueden diseñarse asumiendo una velocidad de 5.0 m/s, a través de la sección mínima en la cabeza de cada grada. El régimen de flujo de las rápidas escalonadas depende de las características geométricas y el caudal manejado por la estructura. Pueden analizarse dos situaciones:

- **Régimen de flujo saltante**

En este caso la disipación de energía se genera independientemente en cada escalón al romperse el chorro en el aire, al mezclarse en el escalón o por formulación de resaltos hidráulicos, Mejía, 1999. (Ver Figura N°2.28)

- **Régimen de flujo rasante (Skimming)**

En este caso las gradas actúan como rugosidad del canal donde se desarrollan vórtices y la disipación se obtiene en la formación de estas turbulencias en las gradas.

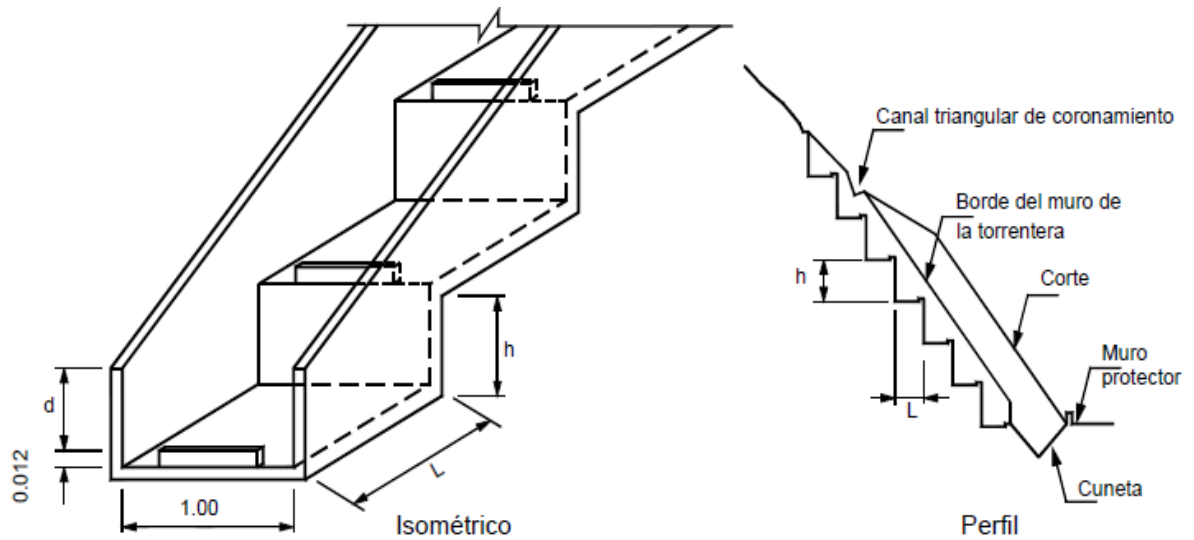


FIGURA N°2.27: Torrentera en gradería. (Derramadero).
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

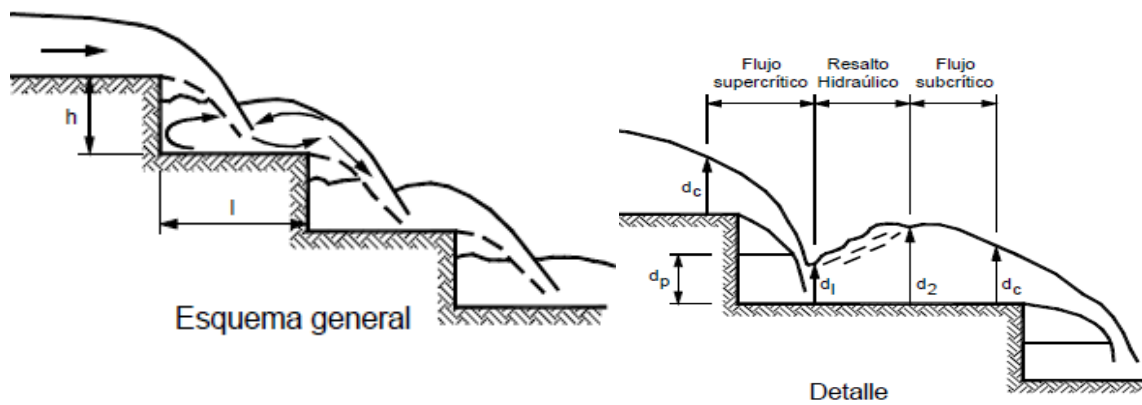


FIGURA N°2.28: Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Para el diseño de rápidas escalonadas Mejía (1999) recomienda los siguientes pasos:

- Estimar el caudal de diseño.
- Evaluar la geometría del canal (pendiente, altura y ancho).
- Seleccionar la altura óptima de los escalones para obtener el sistema de flujo deseado.

- Calcular las características hidráulicas del flujo.
- Diseño de la cresta.
- Calcular la altura de las paredes del canal considerando un borde libre de salpicaduras.

2.10.1.6 SUBDRENAJES

Además de las obras hidráulicas para conducir la escorrentía superficial es necesario la utilización de drenajes subterráneos que tienen por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que estas aumenten. A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor.

El diseño de sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes es comúnmente irregular y complejo.

Entre los tipos de obra utilizadas para subdrenaje se encuentran las siguientes:

- **Cortinas impermeables subterráneas**

El objetivo es evitar el paso interno de agua hacia las zonas inestables.

- **Subdrenes de zanja**

Los subdrenes de zanja tienen por objeto abatir los niveles freáticos.

- **Subdrenes de penetración**

Son subdrenes horizontales profundos para lograr grandes abatimientos de los niveles freáticos.

- **Colchones de drenaje**

Se colocan debajo de terraplenes o llaves de cortante para impedir el ascenso de los niveles de agua.

- **Drenes verticales de alivio**

Consiste en perforaciones verticales de drenaje para disipar presiones de poros.

- **Galerías de drenaje**

Son túneles con objeto de disipar las presiones de poros y disminuir los niveles freáticos.

- **Drenes de pantalla**

Son colchones inclinados de drenaje para evitar que en los afloramientos de agua subterránea se formen Cárcavas de erosión.

2.10.2 OBRAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN EN EL CUERPO DE LA CÁRCAVA

2.10.2.1 DISEÑO DE TALUDES Y BERMAS

En la estabilización de Cárcavas el diseño de taludes y bermas es una solución que se puede implementar esto ayuda a controlar la erosión en el cuerpo como en el fondo de la Cárcava y mejora la estabilidad a deslizamientos, tanto en los cortes como en los terraplenes (Ver Fotografía N° 2.1).

2.10.2.1.1 PENDIENTE DEL TALUD

Para el diseño de la pendiente del talud se debe analizar a detalle las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales constitutivos del talud. El suelo y

la roca son materiales extremadamente complicados y heterogéneos y tienden a deteriorarse con el tiempo. Los suelos residuales por la presencia de discontinuidades estructurales son especialmente difíciles de manejar. Para decidir el valor de la pendiente y la forma del talud se debe realizar un juicio en conjunto, analizando la influencia de todos los factores. En este estudio se puede requerir realizar ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad, utilizando modelamientos matemáticos y físicos. En la mayoría de los casos la resistencia y calidad de los materiales varía de acuerdo a la profundidad de la excavación y se requiere tener en cuenta estas diferencias para definir la pendiente. La solución más utilizada es la construcción de pendientes combinadas de acuerdo a las características del material.

2.10.2.1.2 BERMAS INTERMEDIAS

Se debe construir bermas intermedias en los sitios de cambio de pendiente y en los sitios donde se requiera para garantizar un factor de seguridad adecuado contra deslizamiento. La construcción de bermas debe garantizar velocidades aceptables de las aguas de escorrentía sobre el talud, estas deben tener un ancho y pendiente para captar y conducir el agua a un sitio seguro.

La localización y ancho de las bermas depende del propósito de las bermas. Las bermas para el manejo de aguas de escorrentía y control de erosión generalmente tienen un ancho 1 a 2 metros y se colocan a diferencias de altura entre 5 y 10 metros, dependiendo de la calidad de los suelos y coincidiendo con sitios de cambio de pendiente del talud. En suelos erosionables la berma debe tener una pendiente de 5 a 10 % hacia adentro del talud y se debe construir una cuneta revestida en su parte interior para el control y manejo de las aguas de escorrentía. La pendiente longitudinal de la berma debe ser superior al 3% para garantizar la salida eficiente y rápida del agua recolectada.



FOTOGRAFÍA N° 2.1: Conformación de Taludes y Bermas en Cárcava Las Cañas, Ilopango, 2011.

2.10.2.1.3 CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE BERMAS Y PENDIENTES

Para el diseño de bermas y pendientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Formación Geológica**

A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales.

- **Meteorización**

Al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren

de taludes inferiores a 1H:1V, en la mayoría de las formaciones geológicas no permiten alturas entre bermas superiores a 7 metros y requieren anchos de berma de mínimo 4 metros.

- **Microestructura y estructura geológica**

A menos que las discontinuidades se encuentren bien cementadas, las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación. Entre menos espaciadas sean las discontinuidades se requieren pendientes menores de talud. Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.

- **Minerales de arcilla**

Los suelos que contengan cantidades importantes de arcillas activas, tipo Montmorillonita, requieren de pendientes de talud inferiores a 2H:1V. Los suelos con Kaolinita permiten generalmente, taludes hasta 1H:1V. Las alturas entre bermas en suelos arcillosos no deben ser superiores a 5 metros y las gradas deben tener un ancho mínimo de 4 metros.

- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico**

Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H:1V a menos que tengan una cohesión alta.

- **Sismicidad**

En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendiente superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.

- **Factores antrópicos**

En zonas urbanas no se recomienda construir taludes con pendientes superiores a 1H:1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5 metros.

- **Elementos en riesgo**

Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad más altos.

- **Zona de Protección**

Se debe recordar que en el pie y corona del talud se establece una zona de seguridad en la cual no debe construirse ningún tipo de construcción para proteger y no debilitar el talud.

2.10.2.2 MUROS DE CONTENCIÓN Y ANCLAJES

El propósito de una estructura de contención es el resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad.

Existen varios tipos generales de estructura, y cada una de ellas tiene un sistema diferente de transmitir las cargas.

2.10.2.2.1 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Un modelo de cálculo generalmente consiste de un método de análisis basado en una teoría y un modelo de modificación de los resultados del análisis para asegurarse que los cálculos son ciertos.

Un diseño adecuado para un muro de contención debe considerar los siguientes aspectos:

- Los componentes estructurales del muro deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte y momentos internos generados por las presiones del suelo y demás cargas.
- El muro debe ser seguro contra un posible volcamiento.
- El muro debe ser seguro contra un desplazamiento lateral.
- Las presiones no deben sobrepasar la capacidad de soporte del piso de fundación.
- Los asentamientos y distorsiones deben limitarse a valores tolerables.
- Debe impedirse la erosión del suelo por debajo y adelante del muro bien sea por la presencia de cuerpos de agua o de la escorrentía de las lluvias.
- Debe eliminarse la posibilidad de presencia de presiones de agua detrás del muro.
- El muro debe ser estable a deslizamientos de todo tipo.

PROCEDIMIENTO:

Para realizar el diseño una vez conocida la topografía del sitio y la altura necesaria del muro debe procederse:

- Escoger el tipo de muro a emplearse.

- Dibujar a escala la topografía en perfil de la sección típica del muro.
- Sobre la topografía dibujar un diagrama "tentativo" supuesto del posible muro.
- Conocidas las propiedades de resistencia del suelo y escogida la teoría de presiones a emplearse, calcular las fuerzas activa y pasiva y su punto de aplicación y dirección de $1/2$ a $2/3$, de acuerdo al ángulo de fricción del suelo y la topografía arriba del muro.
- Para paredes posteriores inclinadas se recomienda en todos los casos, calcular las presiones con la teoría de Coulomb.
- Calcular los factores de seguridad así:
 - Factor de seguridad contra volcamiento.
 - Factor de seguridad contra deslizamiento de la cimentación.

Si los factores de seguridad no satisfacen los requerimientos deben variarse las dimensiones supuestas y repetir los pasos anteriores. Si son satisfactorios se procederá con el diseño.

- Calcular las presiones sobre el piso y el factor seguridad contra capacidad de soporte. Si es necesario debe ampliarse el ancho de la base del muro.
- Calcular los asentamientos generados y si es necesario ampliar la base del muro.
- Diseñar los sistemas de protección contra:
 - Socavación o erosión en el pie.

- Presencia de presiones de agua detrás del muro.

- Finalmente deben calcularse los valores de los esfuerzos y momentos internos para proceder a reforzar o ampliar las secciones del muro, de acuerdo a los procedimientos estandarizados de la ingeniería estructural.

Es una buena práctica de ingeniería construir subdrenes detrás de todo tipo de muros. El sistema de drenaje debe diseñarse en tal forma que se anticipe a capturar el agua antes de que afecte el muro. Adicionalmente a los subdrenes deben colocarse huecos de drenaje para prevenir la presión hidrostática, los cuales son normalmente de diámetro de dos a tres pulgadas espaciados no más de 1.5 metros horizontalmente y 1.0 metro verticalmente, las columnas deben intercalarse. Los lloraderos deben colocarse desde una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro.

Como guía general, el material de drenaje debe tener una permeabilidad de al menos 100 veces mayor que la del suelo o roca a drenarse. El garantizar su efectividad.

2.10.2.2 MUROS MASIVOS RÍGIDOS

Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención. En las tablas N°2.3a y N°2.3b se presentan las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de muros rígidos mostrados en la Figura N°2.29.

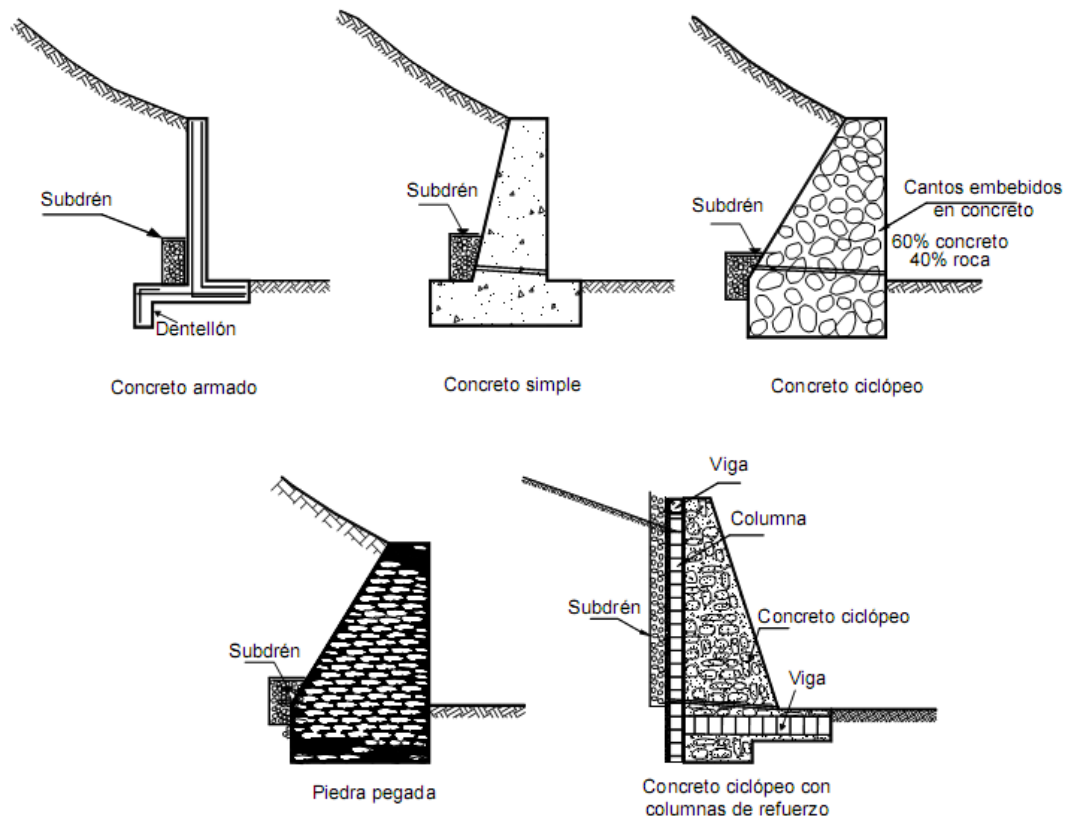


FIGURA N°2.29: Esquema de Muros Rígidos.

FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

MURO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Concreto Reforzado	<p>Pueden emplearse en alturas grandes (Superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad.</p> <p>Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de obras tienen experiencia.</p>	<p>Requieren de buen piso de cimentación.</p> <p>Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.</p>

TABLA N°2.3a: Ventajas y desventajas de los Muros masivos rígidos.

FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

MURO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Concreto Simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros.
Concreto Ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto. Generalmente son las económicos que los de concreto simple o reforzado.	Se requiere muy buena fundación. El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes. Se requiere la disponibilidad de bloques de roca.
Concreto Ciclópeo con columnas de refuerzo	Combinan las ventajas de economía del concreto ciclópeo con la capacidad a flexión del concreto reforzado.	Se requiere muy buena fundación. Es muy poca la investigación sobre su comportamiento y no existe una metodología aceptada de diseño.
Mampostería de piedra	Son muy económicos cuando hay disponibilidad de bloques de roca. Son visualmente atractivos.	Se requiere muy buena fundación. Resistencia muy baja a la flexión. Son muy vulnerables a los movimientos.

TABLA N°2.3b: Ventajas y desventajas de los Muros masivos rígidos.
FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

2.10.2.2.3 MUROS MASIVOS FLEXIBLES

Son estructuras masivas, flexibles. Se adaptan a los movimientos. Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura. (Ver Figura N°2.30)

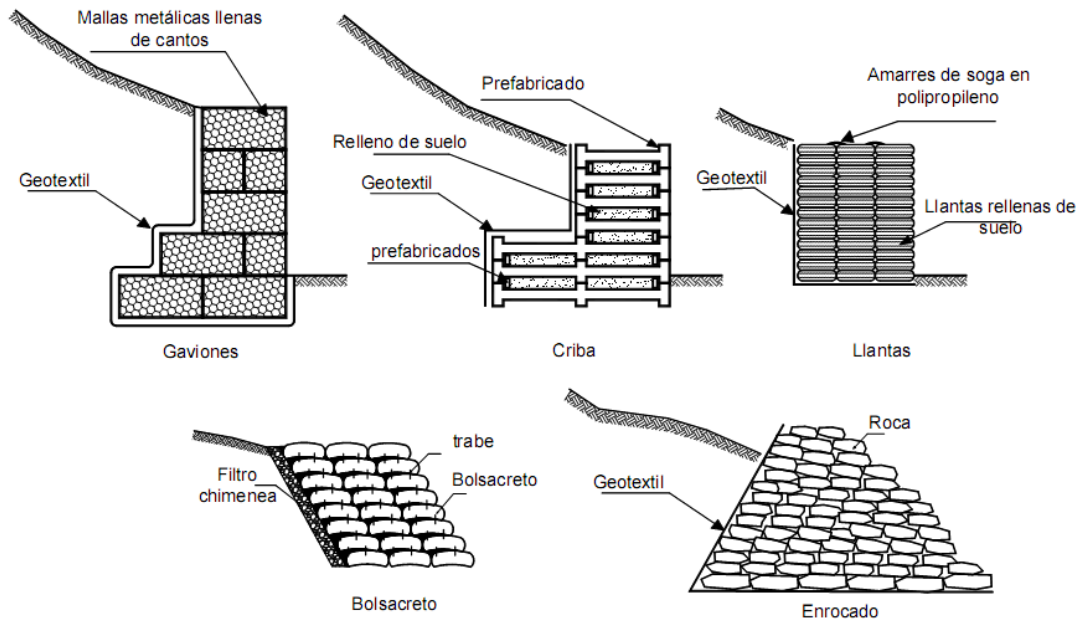


FIGURA N°2.30: Esquema de Muros Flexibles.

FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

En las tablas N°2.4a y N°2.4b, se presentan las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de muros flexibles.

MURO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Gaviones	<p>Fácil alivio de presiones de agua.</p> <p>Soportan movimientos sin pérdida de eficiencia.</p> <p>Es de construcción sencilla y económica.</p> <p>Son flexibles y se acomodan a los movimientos.</p> <p>Se pueden reparar.</p> <p>Son permeables.</p>	<p>Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios.</p> <p>Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace un buen control de calidad.</p> <p>Actúan por gravedad y se requiere comúnmente que tengan gran volumen.</p>

TABLA N°2.4a: Ventajas y desventajas de los Muros masivos flexibles.

FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

MURO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Criba	Simple de construir y mantener. Utiliza el suelo en la mayor parte de su volumen. Utiliza elementos prefabricados los cuales permiten un mejor control de calidad.	Se requiere material granular, autodrenante. Puede ser costoso cuando se construye un solo muro por la necesidad de prefabricar los elementos de concreto reforzado. Generalmente no funciona en alturas superiores a siete metros.
Llantas (Neusol)	Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje de los elementos utilizados.	No existen procedimientos confiables de diseño y su vida útil no es conocida.
Piedra - Pedraplén	Son fáciles de construir y económicos cuando hay piedra disponible.	Requieren de la utilización de bloques o cantos de tamaño relativamente grande.
Bolsacreto	Fáciles de construir en contacto con cuerpos de agua.	Son relativamente costosos.

TABLA N°2.4b: Ventajas y desventajas de los Muros masivos flexibles.

FUENTE: Capítulo 3, Estructuras de Contención, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

2.10.2.2.4 TIERRA REFORZADA

Las estructuras de tierra reforzada son terraplenes donde el suelo es su principal componente; y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente deben su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir. Utilizan el suelo como su principal componente. Puede adaptarse fácilmente a la topografía. Permite construirse sobre fundaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y puede demolerse o repararse fácilmente, pero se requiere espacio disponible superior al de cualquier otra estructura de contención. (Ver Figura N°2.31).

En las tablas N°2.5a y N°2.5b se presentan las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de refuerzos que pueden ser utilizados para la tecnología de la tierra armada.

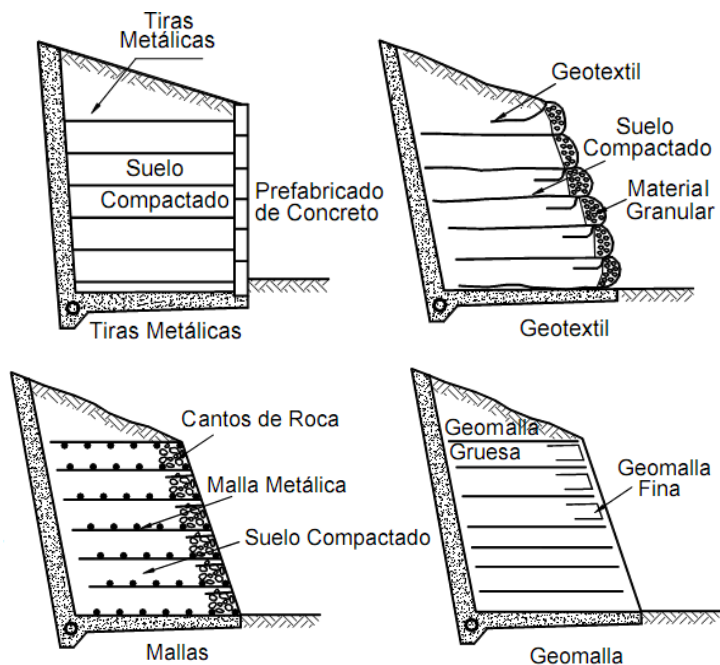


FIGURA N°2.31: Esquema de Estructuras de Tierra Reforzada.

FUENTE: Capítulo 6, Refuerzo con Geosintéticos, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

REFUERZO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Refuerzo con tiras metálicas	<p>Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos.</p> <p>Existen empresas dedicadas a su construcción.</p> <p>El agua no se acumula entre capas.</p>	<p>Las zonas de refuerzo requieren protección especial contra la corrosión.</p> <p>Se requieren características especiales en el relleno utilizado con los elementos de refuerzo.</p>
Refuerzo con malla metálica	<p>La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad.</p> <p>El efecto de anclaje es mejor.</p> <p>El agua no se acumula entre capas.</p>	<p>Dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.</p> <p>Hay dificultades para la unión con la fachada.</p>

TABLA N°2.5a: Ventajas y desventajas de la Tierra Armada.

FUENTE: Capítulo 6, Refuerzo con Geosintéticos, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

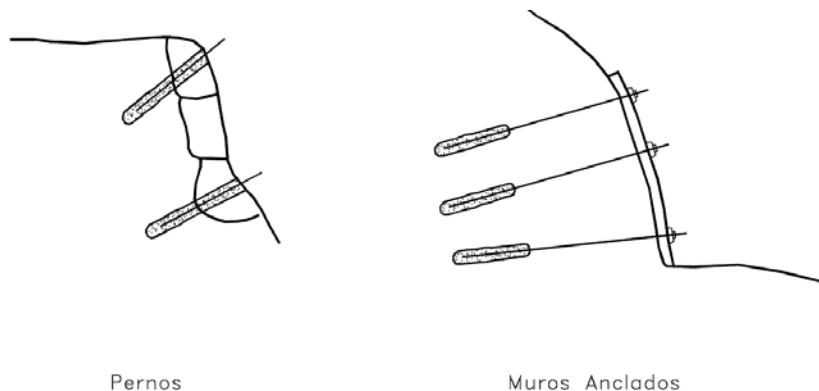
REFUERZO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Refuerzo con geomalla sintética	El terraplén es relativamente rígido. Se deforman menos que los de geotextil. El agua no se acumula entre capas.	Dependiendo de la rigidez de la malla puede requerirse en material diferente para la fachada.
Refuerzo con geotextil	Son generalmente muy económicos y fáciles de construir.	Son muy flexibles y se deforman fácilmente. Las capas de geotextil se pueden convertir en superficies de debilidad para deslizamientos. El geotextil se descompone con la luz solar, El agua puede acumularse entre capas.

TABLA N° 2.5b: Ventajas y desventajas de la Tierra Armada.

FUENTE: Capítulo 6, Refuerzo con Geosintéticos, Deslizamientos Técnicas de remediación, Jaime Suárez.

2.10.2.2.5 ESTRUCTURAS ANCLADAS

En las estructuras ancladas se colocan varillas o tendones generalmente, de acero en perforaciones realizadas con taladro, posteriormente se inyectan con un cemento. Los anclajes pueden ser pretensados para colocar una carga sobre un bulbo cementado o pueden ser cementados simplemente sin colocarles carga activa. (Ver Figura N°2.32).



Pernos

Muros Anclados

FIGURA N°2.32: Esquema de Estructuras Ancladas.

FUENTE: Capítulo 14, Estructuras de contención o anclaje, Deslizamiento en Taludes en zonas Tropicales, Jaime Suárez.

2.10.2.2.6 SISTEMA SOIL NAILING

La utilización de inclusiones como en el suelo enclavado (soil nailing) como recurso para la estabilización de suelos y taludes, se ha comenzado a popularizar en nuestro país en los últimos años, particularmente en la década pasada. El suelo enclavado es una técnica para reforzar el suelo in-situ. El sistema consiste en una cubierta o revestimiento de concreto lanzado, construido regularmente de arriba hacia abajo y un arreglo de inclusiones (miembros reforzados o "nails") perforadas o insertadas en una masa de suelo, como se muestra en la Figura N°2.33. El suelo enclavado se compone principalmente de tres elementos, el suelo in-situ, el refuerzo y la cubierta o revestimiento. El diseño de las inclusiones se relaciona directamente con las propiedades del suelo y la interacción con él.

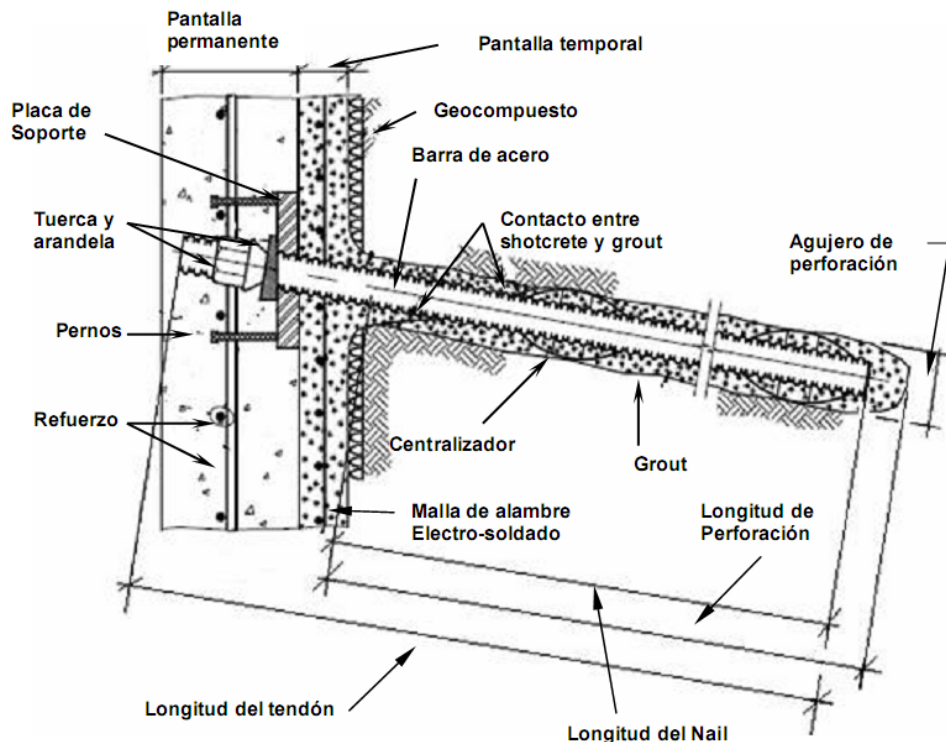


FIGURA N°2.33: Componentes de un Muro Soil Nailing.

FUENTE: Análisis y Diseño de estructuras de Retención de aplicación reciente en el Salvador, Universidad de El Salvador.

- **Inclusiones**

Las inclusiones son elementos cortos o largos que se incrustan o colocan en el suelo formando retículas, estabilizando y reforzando el suelo. Las inclusiones en el suelo enclavado trabajan como refuerzo y la carga es transmitida a todo lo largo de la inclusión. Estas pueden ser según el método constructivo que se use clavadas, llenadas con lechada, *jet grouted* y encapsuladas.

- **Cubierta o Revestimiento**

La función del revestimiento es asegurar la estabilidad local del suelo entre los refuerzos, limitar la descompresión inmediata después de la excavación y proteger el suelo retenido en su superficie de la erosión y los efectos del intemperismo. El tipo de cubierta que se utiliza depende en mayor parte de los requerimientos estéticos de la estructura, ya que ésta será la única parte de la estructura que quedará visible. El concreto lanzado es ampliamente utilizado tanto para estructuras temporales como permanentes. El lanzado provee una capa superficial continua y flexible que puede rellenar vacíos y grietas de la superficie excavada.

Para aplicaciones permanentes, siempre se refuerza con malla de alambre soldado con el espesor necesario con capas sucesivas de lanzado, cada una de 2 a 4 pulg. (5 a 10 cm) de espesor.

Aplicaciones temporales han sido construidas utilizando malla de alambre soldado o fibras de refuerzo y concreto lanzado. El colocar la malla de alambre soldado o las fibras de refuerzo tiene el fin de dar mayor flexibilidad a la estructura y reducir la propagación de rajaduras. La durabilidad del lanzado depende en gran medida de mantener la relación agua/cemento y utilizar una entrada de aire adecuada.

2.10.3 PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE

Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, es utilizada para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad. Estas estructuras son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

Las obras de control de erosión buscan la adecuada evacuación de las aguas de escorrentía, un mejoramiento de la infiltración, la disminución de la velocidad de escurrimiento, la protección de los suelos al impacto de la lluvia y el restablecimiento de coberturas vegetales. Los revestimientos de las superficies de los taludes con concreto lanzado, suelo cemento o mampostería, se utilizan cuando las pendientes de los mismos son mayores al 100% (45°), así como es posible utilizarlos en la parte baja de las estructuras de contención y requieren ser complementadas con obras de control de drenaje superficial.

A continuación se describen las principales prácticas de protección de la superficie de un talud utilizadas.

2.10.3.1 GEOSINTÉTICOS

Son elementos planos y flexibles que se acomodan y adhieren a la superficie del terreno, evitando que el agua y el viento entren directamente en contacto con el suelo y provoquen erosiones. La función secundaria de estas intervenciones es la de promover la integración del talud al medio circundante, reconstituyendo, cuando sea posible, la vegetación local. Estas obras, además de preservar bienes y vidas humanas proporcionan, principalmente en centros habitados y obras viales, una gran economía

con la eliminación de las operaciones de mantenimiento y limpieza del talud. (Ver Fotografía N°2.2)

Muchas veces en los taludes también se encuentran brotes de agua. Es importante por lo tanto, no crear barreras impermeables para evitar la acumulación de agua y la consiguiente desestabilización del talud.



A

B

FOTOGRAFÍA N°2.2: A. Superficie del talud antes de utilizar geosintéticos,
B. Se observa el crecimiento de vegetación por el uso de geosintéticos.

FUENTE: Guía Técnica, Obras Físicas de Prevención y Mitigación en Casos de Deslizamientos.

2.10.3.1.1 BIOMANTAS

En muchos casos son requeridos soluciones que no solamente permitan el desarrollo de la vegetación sino que desaparezcan después que la superficie del talud se haya estabilizado. En estos casos es recomendado utilizar biomantas, que son revestimientos totalmente biodegradables, producidos con fibra de coco u otras fibras naturales pero con vida útil suficiente para desarrollar esta función. Su función principal es la de servir de protección y abono para las especies vegetales que serán sembradas en el talud, antes de la colocación de la misma. Después de pocos meses de su aplicación, la

biomanta desaparece por completo y la protección contra la erosión es proporcionada por la vegetación que se habrá desarrollado en el propio talud. Existen algunas variedades de biomantas que se adecuan a las condiciones de escorrentía, pendientes, precipitaciones y tendencia erosiva del suelo. (Ver Fotografía N°2.3).

La biomanta es apoyada directamente sobre el talud conformado y se sujeta a este con pequeñas estacas de madera. Cuando la inclinación del talud es muy acentuada, el agua lluvia puede dejar la biomanta muy pesada e inestabilizarlo, en estos casos se debe ser utilizada una red en malla hexagonal de doble torsión para mantenerla estable.



A

B

FOTOGRAFIA N° 2.3: Utilización de una Biomanta para la estabilización de un talud con problemas de erosión.

FUENTE: Guía Técnica, Obras Físicas de Prevención y Mitigación en Casos de Deslizamientos.

2.10.3.1.2 GEOMANTAS

En el caso de taludes en suelos finos sin cohesión e inclinación suave, la mejor opción de revestimiento es una geomanta producida con filamentos de nylon. Esta se aplica directamente sobre el talud ya conformado y es anclado a este mediante grapas

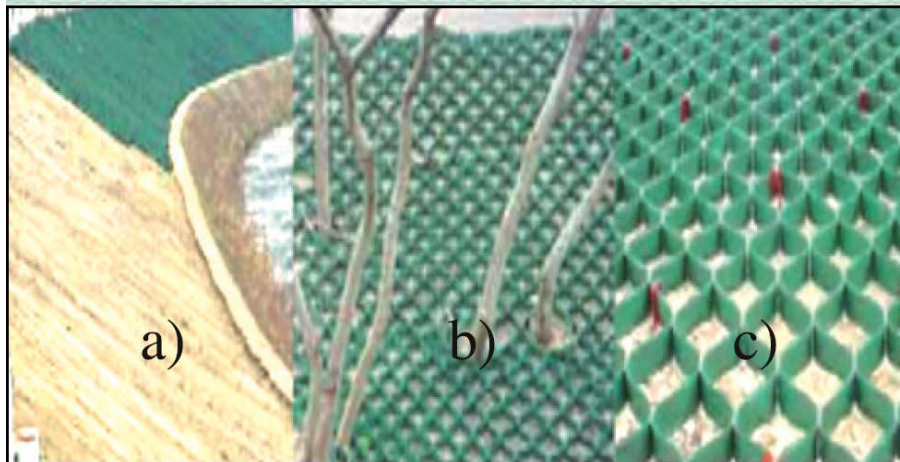
metálicas; posteriormente es sembrado y cubierto con tierra vegetal. Su función es la de confinar las partículas con las cuales es colmatado, facilitando el crecimiento de la vegetación y garantizando la buena interacción suelo-material a través del anclaje de las raíces. En casos particulares puede ser necesario recurrir al hidrosembado para acelerar el crecimiento de la vegetación.

El proceso de instalación de las geomantas es similar al que se utiliza para la colocación de biomantas, en el caso de taludes con gran inclinación (mayores a 45°), estériles, de granulometría fina, y por lo tanto muy susceptibles a la erosión, el revestimiento ideal estará compuesto por una red en malla hexagonal de doble torsión envuelta por una geomanta.

2.10.3.1.3 GEOCELDAS O GEOCÉLULAS

Son formadas por células yuxtapuestas producidas por costura o soldaduras de tiras de materiales sintéticos con una altura próxima de 100 mm, formando una estructura en forma de colmena o similar. La principal función de la geocélulas es la contención del terreno o de otros materiales sueltos en ellas colocados. También son utilizadas para evitar deslizamiento superficial en pendientes suaves y pronunciadas. (Ver Fotografía N°2.4).

El suelo que forma un talud en ocasiones tiene una composición árida, esto ocurre por ejemplo, cuando se corta roca y en algunos casos, taludes áridos durante caminos en construcción. Bajo estas condiciones, es necesario asegurarse que se disponga de un adecuado espesor de suelo superficial que permita el crecimiento de vegetación. Ya que este suelo tiene propiedades mecánicas pobres, puede fácilmente deslizarse del talud y deslavarse de la superficie por efecto de las lluvias antes del crecimiento de vegetación.



FOTOGRAFÍA N°2.4: Estabilización de un talud con el uso de Geoceldas: a) Vista general del talud

b) Colocación cuando existen árboles. c) Geoceldas sobre un talud.

FUENTE: Guía Técnica, Obras Físicas de Prevención y Mitigación en Casos de Deslizamientos.

Las geoceldas permiten la estabilización del suelo superficial en pendientes muy pronunciadas, asegurando el confinamiento lateral del talud mismo. Una vez se abren las geoceldas en su máxima extensión y se llenan con suelo superficial ligeramente compactado, se forma una estructura estable para ser vegetada. La superficie de esta cara puede ser protegida contra la erosión superficial mediante el uso de geomantas y biomantas.

2.10.3.2 CONCRETO LANZADO

Esta práctica tiene como objetivo revestir la superficie del talud ya conformado con una capa delgada de concreto a presión, o más bien dicho, mortero a presión, ya que la mezcla está compuesta básicamente por cemento y arena, con resistencia a la compresión de hasta 210 kg/cm^2 , de tal manera que este se adhiera al suelo del talud y lo proteja de la erosión causada por el flujo del agua sobre la superficie. (Ver Fotografía N° 2.5).



FOTOGRAFÍA N°2.5: Talud revestido con Concreto Lanzado para evitar la erosión.

FUENTE: Guía Técnica, Obras Físicas de Prevención y Mitigación en Casos de Deslizamientos.

Esta mezcla tiene un revenimiento igual a cero, y se puede aplicar ya sea vía seca o por vía húmeda, en función de la bomba que se utilice. Para este tipo de recubrimiento en algunos casos se requiere anclaje para garantizar la fijación de la capa, además se debe colocar un refuerzo (electromalla) que absorba los esfuerzos de tensión debido a la temperatura, evitando que el concreto se agriete. Para su aplicación el talud debe ser geotécnicamente estable; además, no deben existir brotes de agua sobre la superficie del mismo, ya que esto provocaría una presión sobre el recubrimiento que lo dañaría y causaría daños en el talud. No es recomendable utilizarse sobre suelos arcillosos ni en superficies muy sueltas, pues la delgada capa podría despegarse fácilmente. Su implementación debe hacerse en taludes conformados principalmente por tierras blancas (arenas limosas o limos arenosos). La ventaja de utilizar el concreto lanzado para recubrir taludes es que la superficie del mismo puede ser irregular y aun así lograr un revestimiento adecuado.

2.10.3.3 VEGETACIÓN

La vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos, representa la mejor protección contra la erosión. Las observaciones de los taludes naturales muestran que éstos son más estables con vegetación que sin ella; sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente en lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y árboles. La remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando la erosión. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Sin embargo, hay ciertas limitaciones como la susceptibilidad a las quemas y sequías, la dificultad de establecimiento en taludes de alta pendiente y la imposibilidad de resistir fuerzas de socavación, así como su lentitud de germinación y crecimiento. La forma como la vegetación ayuda en el control de la erosión incluye diversos factores así:

2.10.3.3.1 EFECTOS HIDROLÓGICOS

- Intercepción de las gotas de lluvia

El follaje intercepta la lluvia impidiendo el impacto directo sobre el suelo y amortiguando la energía de las gotas. La intercepción varía dependiendo del tipo de vegetación y la intensidad de la lluvia. Dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60% del total de la lluvia anual. Parte de la lluvia interceptada es retenida y evaporada y parte alcanza finalmente la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos. Es importante determinar el tiempo entre la lluvia y el goteo para analizar el efecto hidrológico de cada tipo de vegetación.

- **Retención del agua**

La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye el agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo pero puede aumentar la infiltración. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de la lluvia. Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, retrasan más el ciclo hidrológico en razón a que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia. En el caso de las lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30%, dependiendo de las características de la vegetación.

- **Evapotranspiración**

Las raíces absorben humedad del suelo, la cual es transmitida a la atmósfera por evapotranspiración. La evapotranspiración incluye el efecto combinado de evaporación de la humedad de la corteza terrestre por extracción, a través de las raíces y la transpiración por el follaje. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación en un determinado tipo de suelo, tiene un determinado potencial de evapotranspiración y se obtiene generalmente, una humedad de equilibrio dependiendo de la disponibilidad de agua lluvia y nivel freático. El balance de la infiltración y la evapotranspiración produce una determinada humedad, la cual debe compararse con la humedad requerida para saturación. Debe tenerse en cuenta que en un suelo al saturarse, se disminuyen las fuerzas de succión o presiones negativas de agua de poros, las cuales ayudan a la estabilidad. En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación, mejorando la estabilidad de las laderas.

- **Acumulación de agua**

El agua acumulada en el follaje retrasa el flujo y disminuye el potencial de avenidas torrenciales. La cantidad de lluvia acumulada por la vegetación depende especialmente de la densidad interna del follaje medida por el total de área de hojas por área nominal. Generalmente el volumen de agua acumulada llega a un máximo y a partir de ese momento el follaje no tiene capacidad para acumular más agua. En lluvias intensas el porcentaje acumulado es relativamente pequeño comparado con el volumen total de la lluvia pero en lluvias cortas de poca intensidad este porcentaje puede ser alto.

- **Drenaje por el follaje**

Parcialmente la lluvia interceptada es transportada hasta el suelo por el follaje especialmente en los pastos de hoja ancha. El agua interceptada se transporta a lo largo de las hojas concentrándose en el pie de la planta. Para que este flujo ocurra se requiere que las hojas tengan una pendiente entre 30° y 70° situación muy común en los pastos de alturas medianas. Se deben esperar grandes caudales de drenaje por el follaje en las plantas con una arquitectura de follaje con hojas que parten directamente desde el pie de la planta. Este drenaje disminuye la energía de impacto de la lluvia sobre el suelo, disminuyendo la erosión. Las plantas altas y los pastos de hoja muy delgada tienen una menor capacidad de drenaje por el follaje.

- **Goteo por las hojas**

Parte del agua lluvia interceptada por la vegetación cae nuevamente al suelo en forma de gotas desde las hojas. El agua se acumula parcialmente, se forman gotas de mayor tamaño y éstas caen en un esquema de lluvia debajo de las plantas, la cual puede durar un tiempo importante después de la lluvia. El tamaño de estas gotas varía entre 4 y 7 mm y es sensiblemente superior a la de una lluvia directa (0.5 a 5 mm). Al ser las gotas de mayor tamaño el impacto sobre el suelo es mayor y se pueden producir volúmenes

importantes de erosión ocasionados por este goteo. La energía de las gotas depende de la altura de la vegetación y del tamaño de las gotas, y el tamaño de la gota depende del tipo de especie vegetal, especialmente de las características de las hojas. La energía de las gotas aumenta considerablemente al aumentar el diámetro de éstas y de igual forma al aumentar la altura de caída; especialmente cuando esta altura es mayor de 1.0 m.

Una cobertura vegetal muy alta sin una correspondiente cobertura superficial representa una amenaza importante de erosión. Un árbol de gran altura puede generar mayor erosión por impacto de gotas de lluvia que una lluvia que cae directamente sobre el suelo sin ser interceptada por la vegetación. Para que una cobertura vegetal proteja eficientemente contra la erosión de las gotas de lluvia, se requiere que ésta sea de poca altura. Los árboles altos solos no protegen contra la erosión de las gotas de lluvia.

- **Aumento de la infiltración**

Al disminuirse la velocidad del agua por acción de la vegetación se aumenta la retención del flujo y la infiltración. Cuando el agua de la lluvia alcanza el suelo y existe vegetación, las posibilidades de infiltración son mayores que cuando el suelo está desnudo. La materia orgánica, las raíces, las lombrices, las termitas y el alto nivel de actividad biológica que se presenta junto a las plantas ayuda a crear un sistema continuo de poros y por lo tanto una mayor conductividad, es ésta tal vez la principal forma de disminución de la escorrentía durante una lluvia por acción de la vegetación.

Al aumentar la rugosidad disminuyen las velocidades y en esa forma disminuye la erosión. La rugosidad depende además de la morfología de la planta y de la densidad del follaje junto a la superficie del terreno. Se pueden presentar grandes reducciones de velocidad de flujo utilizando una cobertura densa y espacialmente uniforme. El agua

al encontrarse con un elemento de obstrucción cambia de dirección generándose turbulencia. Cuando la vegetación se encuentra muy espaciada esta turbulencia puede generar erosiones importantes. Se requiere por lo tanto, en el diseño de la cobertura vegetal que la densidad de la vegetación sobre la superficie del terreno sea alta. La vegetación a su vez puede ser afectada por el agua (Ver Figura N°2.34).

2.10.3.3.2 EFECTOS HIDRÁULICOS

La velocidad de la escorrentía depende en buena parte de la rugosidad del terreno y la vegetación aumenta considerablemente esta rugosidad. El coeficiente de Manning puede variar de 0.005 para vegetación baja hasta 0.1 para vegetación alta.

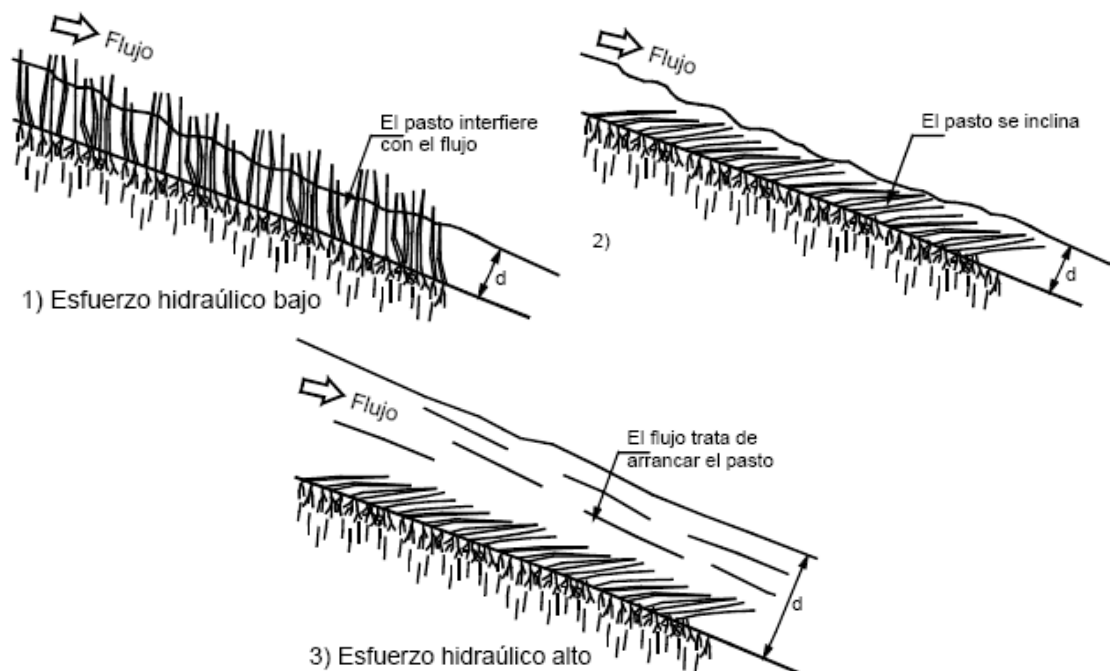


FIGURA N°2.34: Efectos de los esfuerzos del flujo de agua sobre una cobertura de pastos.
FUENTE: Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz, 2001.

Los pastos altos pueden inclinarse, y a grandes velocidades puede producirse el arrancamiento de las plantas por acción de las fuerzas hidráulicas. En la Fotografía N° 2.6 se muestra como queda conformada y distribuida la vegetación en las obras de protección de una Cárcava.



FOTOGRAFÍA N° 2.6: Vegetación en Cárcava Las Cañas en Ilopango.
FUENTE: La Prensa Gráfica, Junio 2011.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

3.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años en El Salvador, el fenómeno de Cárcavas se ha vuelto más frecuente en las áreas urbanas del país, poniendo en riesgo a muchas comunidades que se encuentran en zonas vulnerables para la generación de las Cárcavas, estos lugares presentan características geológicas, hidrológicas, topográficas, tectónicas y antrópicas propicias para el origen de esta problemática. Para entender el fenómeno de erosión en Cárcavas en El Salvador y específicamente en el Área Metropolitana de San Salvador, donde el proceso de denudación ha afectado en gran magnitud a la población, es importante fijar un área donde se centre la investigación y determinar las diferentes características que presenta la zona. En nuestra investigación el área de estudio ha sido determinada de acuerdo al sector de mayor densidad de casos registrados, donde hay mayor cantidad de población afectada y que el problema puede continuar generándose a futuro si no se contrarresta de manera oportuna y adecuada.

En el presente Capítulo se expone una descripción de las diferentes características de la zona en estudio, las cuales nos ayudarán a determinar la influencia que éstas tienen en la generación de Cárcavas y a definir las medidas necesarias para contrarrestar este fenómeno, que en la actualidad ha representado un alto riesgo para muchas familias salvadoreñas.

3.2 GENERALIDADES DE LA ZONA EN ESTUDIO

La zona en estudio que corresponde al municipio de Ilopango, está ubicada al oriente del Área Metropolitana de San Salvador; éste es uno de los municipios más afectados por la erosión en el país, principalmente por Cárcavas, debido a aspectos naturales tales como la geología, topografía, tectónica, cambios en el nivel de base local, eventos hidrometeorológicos y la intervención antrópica, siendo esta última una

de las causas que más peso ha tenido sobre cambios en la morfología del territorio, por lo que se ha determinado conocer las condiciones que están contribuyendo a esta problemática.

Dentro del contexto geográfico, el municipio de Ilopango está limitado al norte por los municipios de Tonacatepeque y San Martín, al este por el Lago de Ilopango, al sur por Santiago Texacuangos y Santo Tomás, y al oeste por Soyapango. El municipio se divide en 4 cantones y 31 caseríos. Los ríos principales que lo atraviesan son: Las Cañas, El Chagüite, La Jutera, Cuapa, La Colmenera y Güilapa. En cuanto a su orografía, la elevación principal es el cerro Amatitán. La elevación de la cabecera alcanza los 625 metros sobre el nivel del mar. Posee un clima cálido, y pertenece al tipo de tierra caliente. El monto pluvial oscila entre 1,700 y 1,850 mm al año. Ilopango tiene una extensión territorial de 34.63 km², de los cuales más del 70 % corresponden al área urbana y aproximadamente un 30 % al área rural. Las actividades económicas están centradas en la denominada «Zona Franca de San Bartolo» y el Bulevar del Ejército (vía de salida de la Zona Metropolitana al oriente del país). En este lugar se localizan fábricas dedicadas a la elaboración de diversos productos, entre ellos se incluyen alimenticios, hilados y tejidos, muebles de madera y metal, papel, cartón, fósforos y cerillos, entre otros. En la localidad se encuentran las instalaciones del Aeropuerto Internacional de Ilopango, que es ocupado para vuelos privados, y es sede de la Fuerza Aérea de El Salvador; además, en este sitio se encuentra el Museo Nacional de Aviación.

A Ilopango lo atraviesan dos carreteras principales que son:

- Carretera Panamericana (CA-1)
- Carretera de Oro (Autopista Este-Oeste, o SAL38E)

Se comunica a través de la Carretera Panamericana (CA1-E) con el municipio de San Martín y la zona oriental del país, a través del Bulevar del Ejército con los municipios de Soyapango y San Salvador, y por la Carretera de Oro (SAL38E) con los municipios de Apopa, Nejapa y Quezaltepeque, y las zonas norte y occidental del país.

Con base al VI Censo de Población y V de Vivienda 2007 de la DIGESTYC⁵ realizado en el año 2007, la población del municipio de Ilopango asciende a los 103,862 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 3.53 %, éste se ha caracterizado por presentar un crecimiento permanente y acelerado y en muchos casos desordenado, lo cual ha influido a la generación de Cárcavas, ya que se han modificado muchas quebradas, aumentando el caudal de escurrimiento e impermeabilizando áreas extensas, ocasionando cambios en el comportamiento hidrológico.

Ilopango es un municipio que reúne las condiciones necesarias que favorecen un estado de alta vulnerabilidad a desastres, entre estos podemos mencionar: inundaciones, generación de Cárcavas, degradación y pérdida de suelo, deslizamientos, entre otros. Esto como consecuencia de la intervención antrópica, debido al rápido crecimiento del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) en las últimas décadas en zonas con suelos propensos a erosionarse, donde además lluvias de gran intensidad como las ocurridas en los últimos años han tenido su aporte en esta problemática. Sin embargo, no solo Ilopango presenta vulnerabilidad ante este tipo de desastres, también se muestra en otros municipios del AMSS, específicamente la zona que presenta una mayor densidad de problemas de Cárcavas corresponde a los municipios de Ilopango, San Martín, Soyapango y parte de Tonacatepeque, debido a que se encuentran cercanos a la caldera de Ilopango donde los espesores de los depósitos de Tierra Blanca Joven (TBJ) alcanzan las decenas de metros.

⁵ DIGESTYC: Dirección General de Estadísticas y Censos.

Las Cárcavas, como también ocurre con las ciudades, los bosques, los ríos, entre otros, se ubican dentro de áreas delimitadas conocidas como cuencas hidrográficas, estas últimas poseen características que influyen sobre los procesos de erosión en el suelo y el caudal que será transportado a través de su red de ríos y quebradas. Por lo que se ha determinado estudiar la cuenca que presenta mayor influencia en el municipio de Ilopango, esta es la Cuenca Alta del río Las Cañas, este río presenta un gran poder de erosión y transporte de material, asimismo tanto el río como su cuenca han experimentado cambios drásticos en los últimos años a causa de los procesos erosivos.

La Cuenca Alta del Río Las Cañas o Cuenca del Río Las Cañas se ubica en la Meseta Central del país y se halla dentro del Área Metropolitana de San Salvador en el departamento homónimo. Se encuentra limitada por el parteaguas de la cuenca (o línea divisoria de aguas), tiene un perímetro de 30.90 km y cuenta con una área de 28.67 km². La cuenca tiene como río principal al río Las Cañas con una longitud de 5.39 km, sin embargo, el cauce más largo es la Quebrada Arenal Seco, además limita al sur con el borde de la caldera de Ilopango, con la cuenca del río El Chagüite, y las cuencas de los ríos La Jutera y Cuapa, y al oeste con la cuenca del río Acelhuate. Tiene como coordenadas geográficas centrales en latitud norte 288,000 m y longitud oeste 488,000 m en Proyección Cónica Conformal de Lambert. Además se ubica entre los 13°44.9' y 13°40.5' de latitud norte y entre los 88°9.7' y 89°4.2' de longitud oeste. La cuenca del río Las Cañas discurre en dirección sur-norte desde el borde de la caldera de Ilopango hasta su confluencia con el río Acelhuate del cual forma parte (Ver Figura N°3.1) y éste a su vez de la cuenca del río Lempa, que es compartida por las Repúblicas de Guatemala, Honduras y El Salvador; siendo nuestro país el que tiene aproximadamente la mitad de su área. En la cuenca de estudio el principal canal de drenaje es el río Las Cañas: a este afluente se le suman las quebradas: Las Pavas, Los Plátanos, El Arenal, El Caracol Las Chachas, Arenal San Bartolo, Arenal Seco, Santa Lucía, La Joya y el río

Sumpa. (Ver en Anexo N°1, Mapa N°3.1 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, HIDROLOGÍA BASE)



FIGURA N°3.1: Ubicación de la Cuenca Alta del Río Las Cañas dentro de la Cuenca del Río Acelhuate.

La cuenca alta del río Las Cañas, la conforman las siguientes comprensiones municipales administrativas (Ver Figura N°3.2):

- Ilopango y Soyapango, cubren el mayor porcentaje del área total de la cuenca.
- San Martín y Tonacatepeque con una menor extensión.

En la Tabla N°3.1 se muestran los valores de las áreas municipales que se encuentran dentro de la cuenca y su porcentaje respecto al total del área de la cuenca.

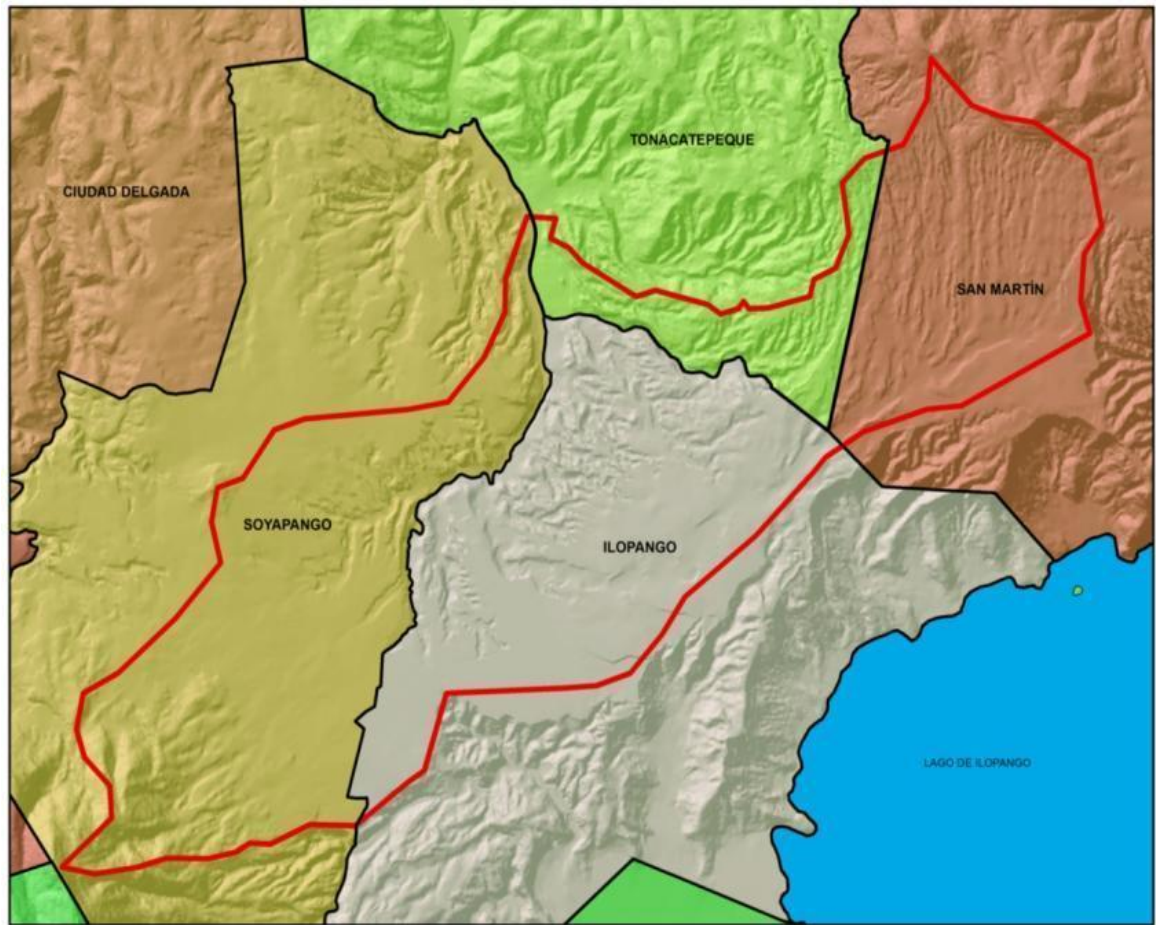


FIGURA N°3.2: Compresión Administrativa de la Cuenca Alta del Río Las Cañas.

MUNICIPIO	ÁREA (m ²)	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
Soyapango	10837,296.00	10.84	37.81%
Ilopango	9670,874.87	9.67	33.73%
San Martín	5662,591.99	5.66	19.74%
Tonacatepeque	2501,558.88	2.50	8.72%
Total	28672321.74	28.67	100.00%

TABLA N°3.1: Compresión Administrativa de la Cuenca alta del Río Las Cañas.

Dichos municipios presentan un alto grado de urbanización por lo existe gran parte de su población viviendo en estado de alta vulnerabilidad a sufrir desastres por procesos

erosivos, sin embargo, el crecimiento poblacional no es el único responsable de esta problemática, también intervienen otros factores como la composición geológica del suelo, eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias torrenciales), procesos tectónicos, cambios de nivel de los cauces, entre otros, todos ellos participan en el proceso erosivo y contribuyen a extender la afectación. Lo cual es confirmado mediante el consolidado de Obras de Mitigación proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (Ver en Anexo N°1, Mapa N°3.1 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, HIDROLOGÍA BASE), ya que dichos datos reflejan la ocurrencia de diferentes fenómenos erosivos.

3.3 TOPOGRAFÍA

La caldera de Ilopango, en sus sucesivos períodos eruptivos, fue depositando material piroclástico como producto de violentas erupciones, los depósitos dependiendo de su cercanía a la caldera, presentan grandes espesores de varias decenas de metros lo que ha influenciado y a la vez definido la composición del suelo, estratigrafía y las diferentes características de su relieve, donde se hallan valles, zonas montañosas y accidentadas.

En su mayoría la cuenca del río Las Cañas, es de baja pendiente lo que ha favorecido la expansión urbanística dentro de la cuenca, sin embargo las planicies se ven interrumpidas por profundos cañones formados debido a la erosión por los flujos de agua en los ríos y quebradas afluentes de la cuenca. Estos cañones en los últimos años han ido aumentando en profundidad y extensión como consecuencia del acelerado avance erosivo que está experimentando la cuenca del río Las Cañas, el que se atribuye a cambios en el uso de suelo por expansión urbanística, eventos hidrometeorológicos, reducción de cobertura vegetal, entre otros.



FOTOGRAFÍA N°3.1: Relieve del área en estudio.

FUENTE: Google Earth.

El punto más bajo de la cuenca se halla en el lecho del río Las Cañas en la salida de la cuenca a una altura de 550 m; la parte más alta se ubica sobre el cerro de San Jacinto a 1,160 m, ambos sobre el nivel del mar.

En la cuenca del río Las Cañas predominan las siguientes características geomorfológicas: relieve accidentado por zona montañosa en las cercanías del cerro San Jacinto (al suroeste de la cuenca) donde la pendiente de las laderas es de moderada a alta, asimismo en el noreste de la cuenca se encuentra relieve accidentado; en la zona central de la cuenca se encuentra una planicie en la cual se asienta gran parte de la población de los municipios de Ilopango y Soyapango, (Ver Fotografía N°3.1 y Mapa N°3.2, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, TOPOGRAFÍA, en Anexo N°2).

Los procesos erosivos que ocurren en la cuenca se hacen más notorios en el lecho y en laderas de los ríos y quebradas, donde los principales cambios se evidencian en la constante modificación de los cursos por las corrientes de agua y en la profundización de su lecho, creando cañones con laderas escarpadas que llegan a tener varias decenas de metros de profundidad.

A continuación se presentan dos ejemplos de cómo la erosión está afectando la cuenca en estudio, esto a través del uso de imágenes satelitales, donde se muestran algunos de los cambios que han experimentado los flujos hídricos de la cuenca del río Las Cañas, tanto por el cambio de curso como también alteraciones en los laterales.

- **QUEBRADA EL CARACOL** (Aguas arriba de unión con Quebrada Las Pavas)

En las imágenes siguientes se muestra cómo la quebrada El Caracol ha cambiado su curso en un período de tiempo (dentro de círculo rojo); esta quebrada se ubica en la parte central de la cuenca, su dirección es de suroriente a norponiente hasta su confluencia con la quebrada Las Pavas donde a pocos metros se unen al río Las Cañas.

La primera imagen (Ver Esquema N°3.1) corresponde a una fotografía tomada en enero de 2005, en la cual se muestra un curso de agua sinuoso y estrecho en su mayor parte, la depositación de sedimentos en el lecho no está generalizada; la segunda fotografía (Ver Esquema N°3.2) tomada en noviembre de 2011 muestra un curso más rectilíneo y amplio dejando un brazo muerto, donde la depositación de sedimentos se muestra más extendida.



ESQUEMA N°3.1: Fotografía tomada en enero de 2005.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.2 Fotografía tomada en noviembre de 2011.
FUENTE: Google Earth.

- **QUEBRADA ARENAL SECO** (Costado oriente de Aeropuerto de Ilopingo, aguas arriba de la confluencia con el río Las Cañas)

En las imágenes satelitales siguientes se muestra la quebrada Arenal Seco y cómo su curso se ha modificado en un período de 7 años aproximadamente; esta quebrada se ubica en la parte suroriente de la cuenca, su dirección aguas arriba es de norte a sur, la cual se modifica en el transcurso hacia aguas abajo donde la dirección es de sur a norte en la confluencia con el río Las Cañas. La primera imagen corresponde a una fotografía tomada en enero de 2005, en la cual se muestra un curso de agua con meandros, estrechamientos y ensanchamientos, y erosión en los laterales, la segunda fotografía tomada en noviembre de 2011 muestra un curso con erosión mucho más severa y aumento de transporte de sedimentos, y meandros en constante modificación que erosionan los laterales del río, como puede observarse en los dos sitios marcados con círculos rojo y azul.



ESQUEMA N°3.3: Fotografía tomada en enero de 2005.

FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.4: Fotografía tomada en noviembre de 2011.
FUENTE: Google Earth.

La erosión es uno de los principales actores del ciclo geográfico, por consecuencia se presenta un constante cambio en la morfología del relieve, tanto en las planicies como en los cañones de quebradas y ríos, y como consecuencia la afectación a áreas urbanas. Este proceso de modificación en los cauces de quebradas y ríos, es un proceso que se da naturalmente, sin embargo ha sido acelerado por cambios en las características de la cuenca, entre ellas el aumento de áreas impermeables debido a la urbanización, disminución de la cobertura vegetal y mayores caudales de escorrentía por tormentas intensas.

3.4 GEOLOGÍA

Los materiales presentes en el territorio del AMSS (Área Metropolitana de San Salvador) se cartografían como Formaciones San Salvador, Cuscatlán y Bálsamo, además de los depósitos aluviales y coluviales más recientes o Cuaternarios. En cada formación se agrupan los materiales por unidades diferentes, según los procesos

eruptivos y mecanismos de depósito, que tienen propiedades físicas y mecánicas diferentes.

En el Mapa N°3.3 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, GEOLOGÍA (Ver en Anexo N°3) se observan los diferentes estratos geológicos de la zona en estudio, según el mapa Geológico de El Salvador escala 1:100,000 (Hoja San Salvador), el perfil estratigráfico más predominante es el S4 o conocido como Tierra Blanca, correspondientes a piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas, estas pertenecientes a la Formación San Salvador, en menor área está el perfil S3A que corresponde a piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas (Tobas color café) de la Formación San Salvador y el perfil B3 que corresponde a Efusivas básicas - intermedias de la Formación Bálsamo. Además en el plano se han incorporado las obras de mitigación que tiene inventariado el Ministerio de Obras Públicas, en la zona de estudio, para una mejor comprensión de la distribución de las obras en la cuenca.

La zona en estudio está cubierta con cenizas de naturaleza riolítica⁶, debido a la erupción explosiva más reciente ocurrida en la Caldera de Ilopango (430 años D.C). Los flujos piroclásticos o ignimbritas de la Tierra Blanca Joven (TBJ) que acompañaron esta erupción, se localizan en casi toda el Área Metropolitana de San Salvador (Ver Fotografía N°3.2), la cual tiene un espesor superior a 60m en las cercanías del borde de la caldera de Ilopango y se reduce a 4m en la Ciudad de San Salvador. Los problemas de erosión son muy comunes en estos depósitos cuando llega la época lluviosa o ante un sismo fuerte, lo que causa daños a las viviendas que se encuentran ubicadas cerca de los taludes.

⁶ La **riolita** es una roca ígnea volcánica que se produce por la violenta salida al exterior de la Tierra de magma.



FOTOGRAFÍA N°3.2: Ignimbritas en Taludes de Tierra Blanca, Ilopango.

Los estudios de la Tierra Blanca se iniciaron con los trabajos de la Misión Geológica Alemana (MGA) 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 fuente de los depósitos de Tierra Blanca y la dividieron en las unidades S4 (piroclastitas¹² ácidas) y S3a (efusivas¹³ ácidas), como miembros de la Formación San Salvador. El S4 se refiere solamente a la última erupción pliniana⁷ de la Caldera de Ilopango, mientras que el miembro S3a agrupa a los depósitos de piroclásticos TB2, TB3 y TB4, (Ver Figura N°3.3) los cuales debido a la coloración de los paleosuelos entre esas unidades, son también llamados “Tobas color café”.

⁷ Las **erupciones plinianas** se consideran como las erupciones magmáticas de mayor violencia.

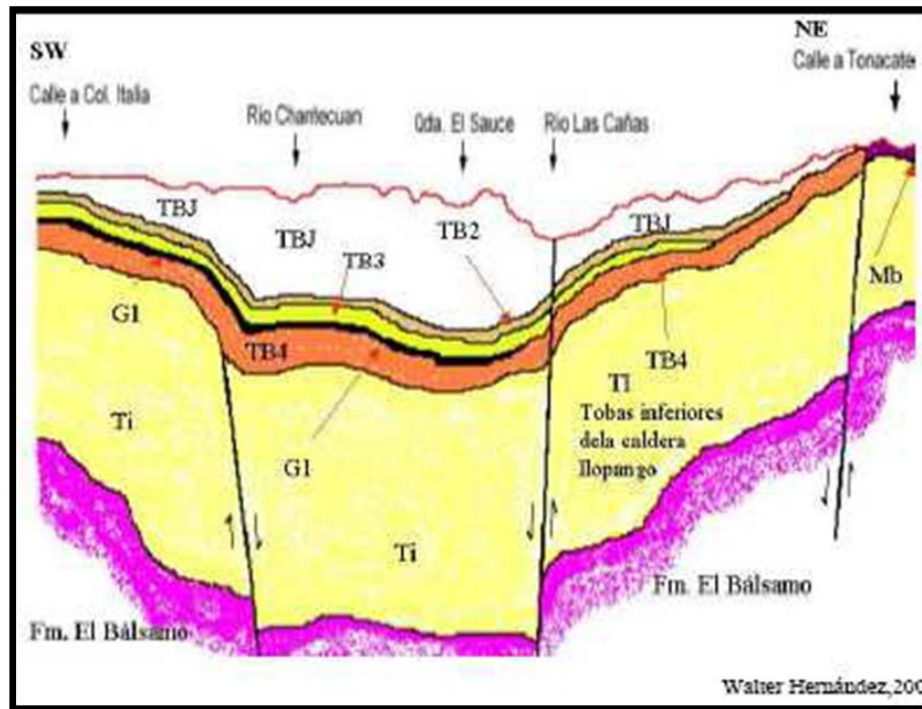


FIGURA N°3.3: Esquema de sección transversal de los depósitos recientes y antiguos del Ilopango, en el sector de Soyapango - río Las Cañas.

FUENTE: Estudio de la Tierra Blanca Joven (TBJ), Walter Hernández, 2005.

Los depósitos encontrados en la zona de estudio presentan varios metros de espesor y con diferentes grados de consolidación, éstos se han clasificado conforme a su antigüedad, a continuación se describe cada uno de ellos.

1. Pómez TB4:

El depósito TB4 es el más antiguo del último ciclo de la Caldera de Ilopango y yace sobre las tefras Apopa. El TB4 está constituido por una capa de pómez color blanco, producto de una erupción pliniana de importante magnitud, con espesores de 6.00 m en Santo Tomás y de 3 m a 23 km al oeste. En la Figura 3.4 se muestran las isopacas⁸

⁸ **Mapas de isopacas** son aquellos en los que las líneas unen puntos de igual espesor de estratos o unidades de roca.

del TB4, correspondiendo cada línea a tres, cuatro, cinco y seis metros de espesor de izquierda a derecha.

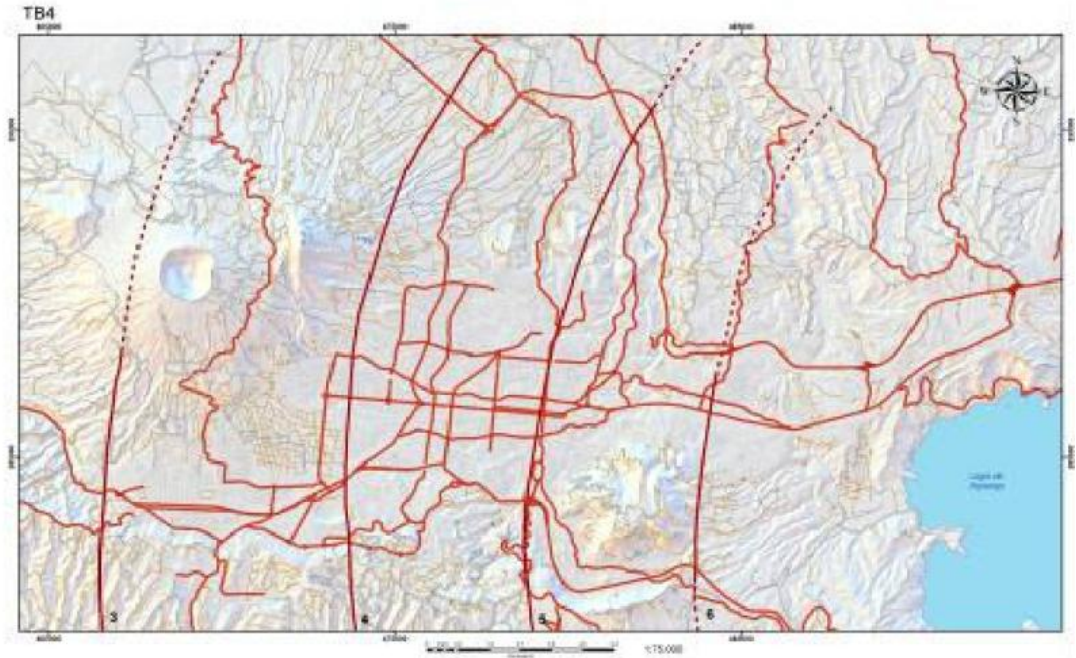


FIGURA N°3.4: Mapa de Isopacas del Pómez de caída TB4.

FUENTE: Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del Área Metropolitana de San Salvador.

El TB4 se caracteriza por tener una capa lapilli⁹ de pómez con gradación normal y por tener mayor espesor que los otros depósitos. 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. Este evento eruptivo se caracteriza por la ausencia de oleadas y flujos piroclásticos. Kutterolf et al, (2007) determinaron por medio de la razón de sedimentación de estas tefras en el fondo oceánico una edad de 36 ka.

⁹ El **lapilli** (singular *lapillus*, del latín: «pequeñas piedras») es un término de clasificación de la tefra según su tamaño y está constituido por fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante la erupción y con un diámetro variable de 2 a 64 mm.

2. Pómez TB3

Este depósito está conformado por pómez y cenizas de caída de granulometría fina, blanca 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. En la zona proximal se han identificado depósitos de flujos piroclásticos en cuya matriz de ceniza fina están diseminados fragmentos de pómez. (Ver Figura N°3.5). El techo del TB3 presenta un paleosuelo delgado poco desarrollado de color café, café-amarillento y frecuentemente presenta discontinuidades paralelas a la cara de los taludes como respuesta a los procesos de exfoliación. El Consorcio Salvador (1988) estimó un volumen para este depósito de 1-5 km³ (*Dense Rock Equivalent:DRE*) y su edad estimada en la razón de sedimentación marina en 19 ka (Kutterolf et al, 2007).

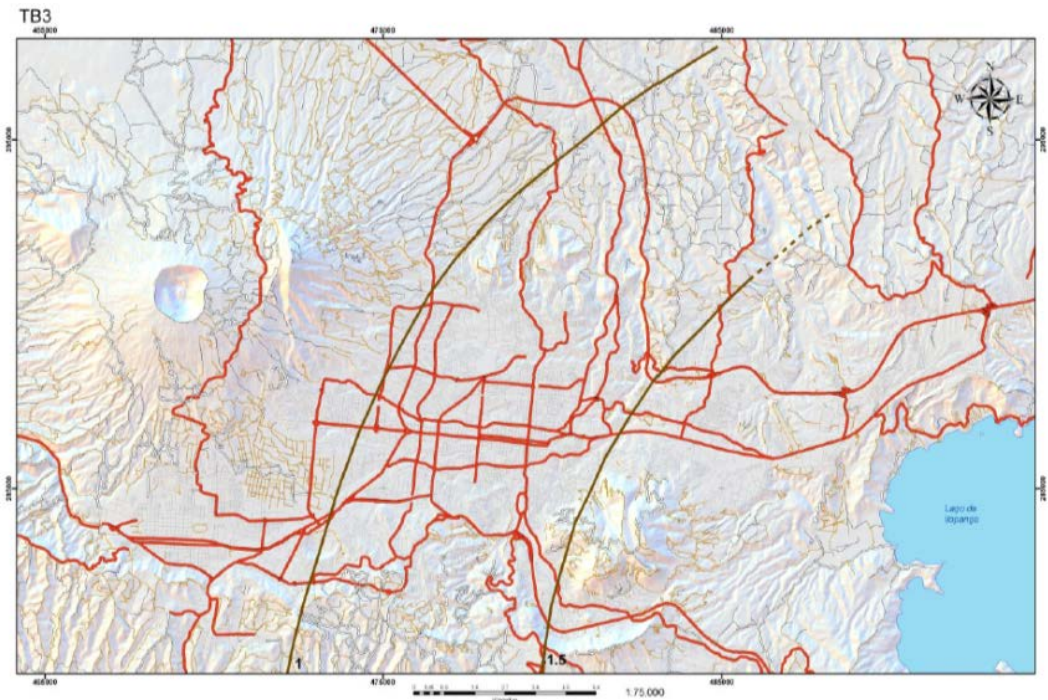


FIGURA N°3.5: Líneas de Isopacas para la caída de Pómez TB3.

FUENTE: Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del AMSS.

3. Pómez TB2

El TB2 tiene espesor de 1 m dentro de un radio de 10 km del centro de emisión, 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. El mapa de isopacas de la Figura N°3.5 muestra bastante similitud en la distribución con TB2 (Ver Figura N°3.6).

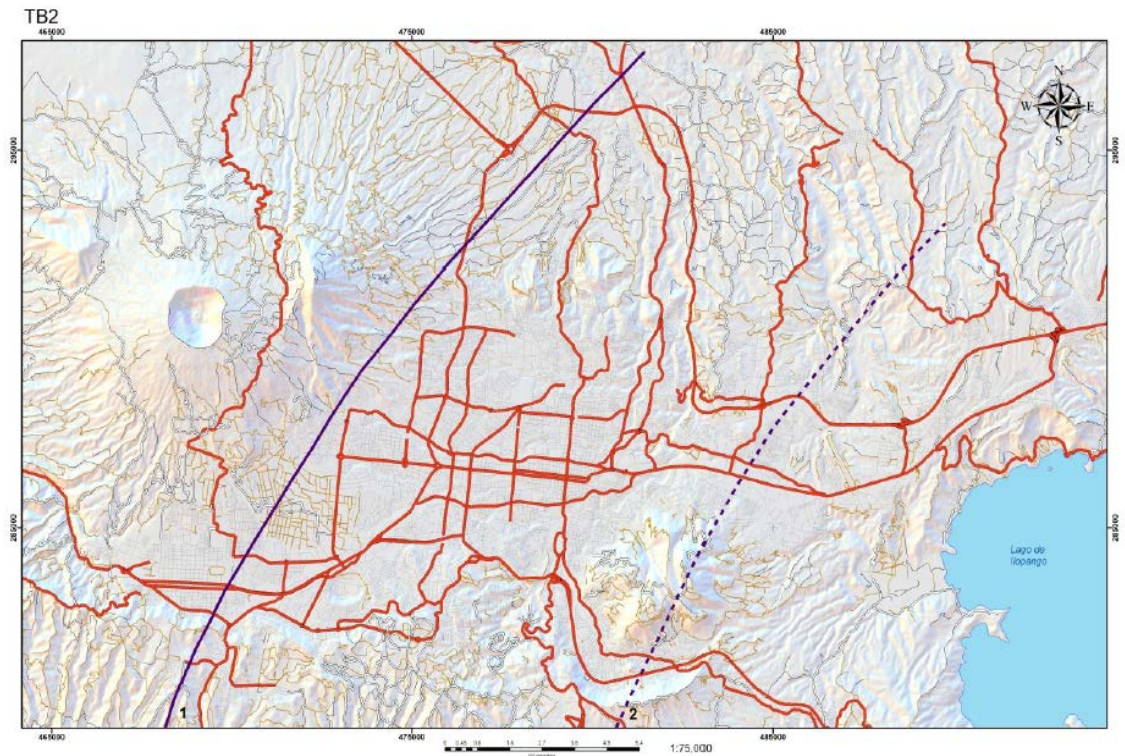


FIGURA N°3.6: Líneas de Isopacas para la caída de pómez TB2.

FUENTE: Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del AMSS.

En taludes de la calle que conduce del Cantón Changallo hacia Santo Tomás, se observan varios depósitos de flujos piroclásticos de color amarillento asociados a esta erupción los cuales tienen poco desplazamiento. Está bastante consolidado y es muy

estable en los cortes de carretera, frecuentemente presenta procesos de exfoliación. En las partes altas de las laderas del complejo volcánico San Salvador, es muy raro encontrar las capas de tefras de TB2 y TB3, debido a los procesos erosivos. El volumen estimado por el Consorcio Salvador (1988) para este depósito es de 1-5 km³ (DRE) y su edad ha sido estimada en 9 ka (Kutterolf et al, 2007).

4. Tierra Blanca Joven (TBJ)

El depósito Tierra Blanca Joven (TBJ) representó la última erupción explosiva cuyo cierre de este ciclo eruptivo está representado por el emplazamiento de los cerros Quemados ocurrido entre diciembre de 1879 y marzo de 1880 (Gooyear, W.1880). Son de composición dacítica y están ubicados dentro del lago Ilopango. La TBJ es el producto de una erupción ultraplíniana cuyas cenizas de caída cubrieron completamente todo el territorio actual de El Salvador y se extendieron por una centena de kilómetros a las fronteras de Guatemala, Honduras y Nicaragua y Costa Rica (Kutterolf et al, 2007). Los flujos piroclásticos de este evento también cubren extensas áreas de los departamentos de San Salvador, La Libertad y La Paz y Cuscatlán. Estos depósitos fluyeron hacia el sur rellenando las depresiones de Santo Tomás y San Pedro Masahuat.

El volcán San Salvador representa una barrera topográfica, sin embargo, un flujo subió hasta la cota 1,740 m sobre la ladera oriental del San Salvador (Hernández, W., 2004). Otro flujo de cenizas finas se desplazó hacia abajo del valle Zapotitán desplazándose 37 km del borde de la caldera. Hacia el norte un flujo piroclástico se desplazó 27 km hasta alcanzar la ribera del río Lempa. Hacia el noroeste se desplazaron hasta tocar la base del cerro Nejapa. Hart and Steen-McIntire (1983) determinan que una distancia de 100 km desde el lago, se tiene un espesor de cenizas de 50 cm que cubren una extensión de 10,000 km², por lo que constituyen la distribución más amplia de los depósitos de

tefras en El Salvador, cuyo volumen estimado que emitió de magma diferenciado fue de 20-50 km³. El estudio reciente de Kutterolff et al. (2007) determinó para TBJ un volumen de 70 km³ DRE.

Estos productos volcánicos denominados Tierra Blanca Joven (TBJ), en particular los depósitos de flujos piroclásticos¹⁰ conocidos como unidad F, por el importante espesor y la posición cercana a la superficie del terreno dentro de la secuencia, juegan un papel importante en el desarrollo de la infraestructura vial, en los proyectos de servicios públicos, privados y residenciales.

3.5 GEOTECNIA

La composición geológica encontrada en la zona de estudio corresponden casi en su totalidad a Tierra Blanca Joven (S4), los cuales son muy vulnerables a la erosión debido al paso de flujo hídrico por lo cual es muy importante conocer su comportamiento para establecer cuál es la influencia que tiene las características geotécnicas en el proceso de formación de las Cárcavas, a continuación se presenta los mecanismos de fallas de dicho material:

3.5.1 ROTURA POR PÉRDIDA DE COHESIÓN

Debido a que la TBJ es un suelo mal graduado, y que no posee finos plásticos, su cohesión en principio sería nula, pero al tratarse de un suelo parcialmente saturado, existe una cementación entre partículas, debida a la humedad, que mantiene estables los taludes de tierra blanca, hasta que vienen los periodos de lluvias fuertes o se da un terremoto. Esta cementación entre las partículas que conforman la TBJ, cuando ésta se encuentra parcialmente saturada, es debida a que el agua no se encuentra en el suelo

¹⁰ Se denomina **flujos piroclásticos** a la mezcla de gases y sólidos eyectada en algunas erupciones volcánicas.

de forma continua sino formando meniscos entre las partículas, sometidos a una tensión superficial T , que provoca una fuerza de succión S en la matriz del suelo, que la mantiene cohesionada. Cuando la presión del aire u_a corresponde a la presión atmosférica, la succión $S = -u_w$, siendo u_w la presión del agua. Por lo tanto, resultado de esta capilaridad (presión capilar), es una fuerza compresiva F entre las partículas del suelo. (Ver Figura N°3.7)

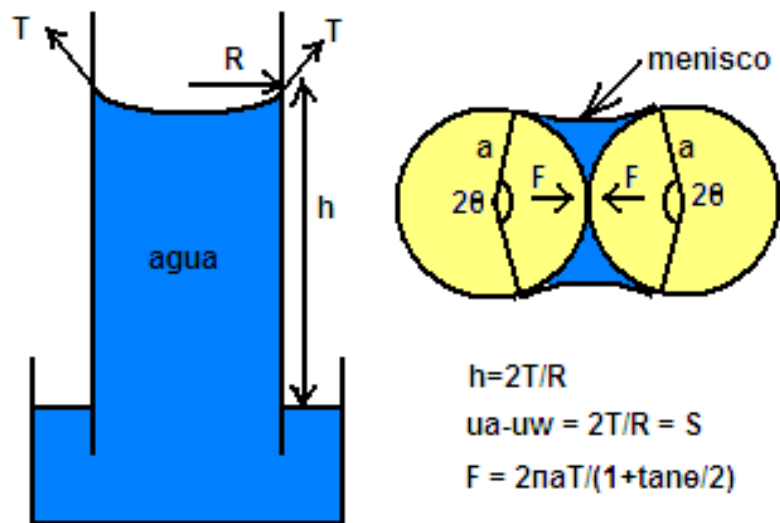


FIGURA N°3.7: Efecto de la tensión superficial de un menisco de agua en la cohesión entre las partículas.

FUENTE: Documento Dispositivos de Regulación y Control del Drenaje Pluvial Urbano.

Cuando el grado de saturación del suelo aumenta, llega un momento en que los meniscos se rompen, para formar parte de una fase continua de agua, esto implica que desaparezca la fuerza de la succión entre partículas y por tanto la cementación del suelo, produciéndose movimientos de ladera tales como deslizamientos, derrumbes o erosión. Esta es una de las razones por las cuales estas situaciones ocurren más frecuentemente en los meses de agosto y septiembre, que es cuando ya hay una significativa acumulación de agua en el suelo. Un evento sísmico también implica la

rotura de cohesión entre partículas, y por lo tanto los consecuentes movimientos de ladera.

3.5.2 PROCESO DE EXFOLIACIÓN¹¹

Taludes de ignimbritas en el AMSS, muestran fisuras que luego progresan a grietas, éstas aparecen de manera regular paralelas a la cara del talud. 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. Estos factores que se describen a continuación operan conjuntamente para el desarrollo de las grietas (Ver Figura N°3.8).

- Cambios diarios de temperatura

Los cambios de temperatura que experimenta el ciclo diurno, causan efectos térmicos en los depósitos de flujos piroclásticos expuestos a la actividad solar. Estos cambios de temperatura producen contracciones y expansiones en la cara y en la cabecera del talud, llegando a producir un debilitamiento de la sección más externa del mismo, de la que derivan la formación de fisuras y grietas. En la estación seca, abril es el mes más caliente (31.4°C máx.- 19.5°C mín.) y diciembre el menos caliente (27.2°C máx. – 16.1°C mín.). Durante la estación lluviosa, el mes de mayo es el más caliente (29.1°C máx.- 20.5°C mín.) y septiembre el menos caliente (26.4°C máx. - 19.8°C mín.). Estos registros de temperatura indican que durante la época seca los suelos se enfrían y se calientan más que en la época lluviosa (Zimmerman, R. 2004).

¹¹ Hernández, Walter. “Proceso de Exfoliación” En: Mecanismo De Ruptura De Taludes En Ignimbritas De Tierra Blanca Joven, Caldera De Ilopango, El Salvador. San Salvador: Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Pág.4

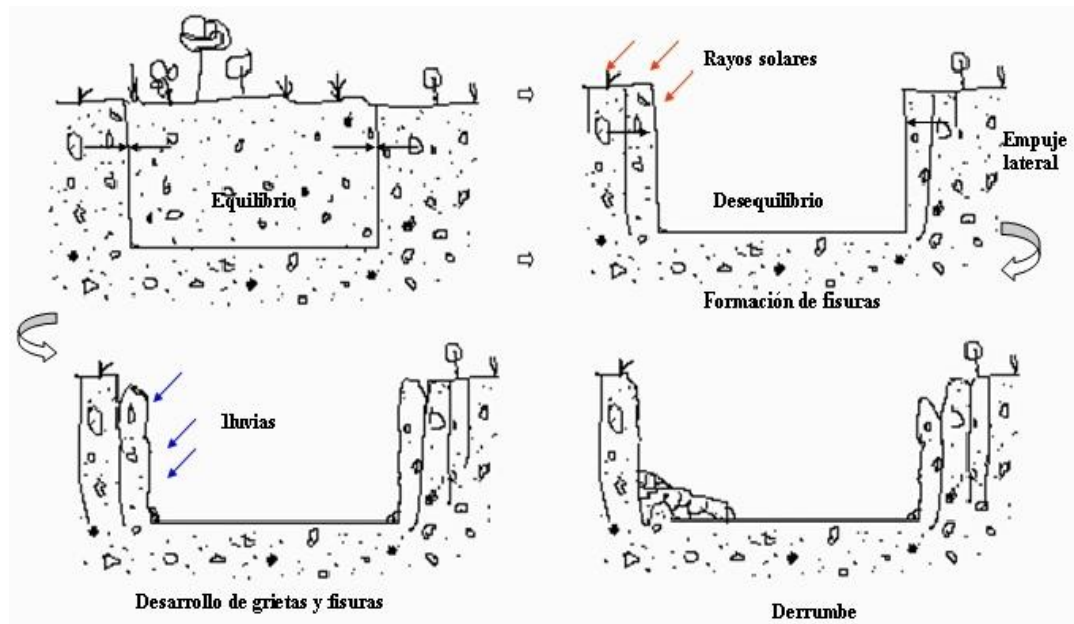


FIGURA N°3.8: Mecanismos de ruptura de taludes en ignimbritas de textura gruesa.
FUENTE: Mecanismo de Ruptura de Taludes en Ignimbritas de Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador, Walter Hernández, SNET.

- Lluvias

El largo período de la estación lluviosa y las altas precipitaciones en el AMSS a que están expuestos los materiales ignimbéricos, favorecen la infiltración y el proceso de erosión. Al llover, el agua entra en las grietas produciendo un aumento de la presión de poro erosión diferencial tubificación. A su vez, las corrientes de agua erosionan las aristas de las grietas haciendo que se ensanchen. La repetición de este proceso contribuye a que la grieta se abra facilitando aún más la circulación del agua. En estas condiciones y ante la presencia de una lluvia torrencial, la sección en forma de cuña formada por la discontinuidad se cae al aumentar el esfuerzo cortante por el aumento de peso del agua intersticial, venciendo así las fuerzas resistentes. Este tipo de derrumbes es muy frecuente en las ignimbritas TBJ en el AMSS durante la estación lluviosa.

- **Sismos**

El paso de una onda sísmica de un medio más duro a otro sin consolidación, como es el caso de los depósitos de TBJ, produce una disminución de la velocidad de la onda al pasar por esos materiales, tal cambio de velocidad es acompañado por una amplificación de la onda sísmica en dichos materiales; teniendo como resultado vibraciones del suelo más fuertes, contribuyendo a la abertura de las discontinuidades. Cuando un sismo es fuerte puede producir vuelco de la porción más externa de la cara del talud y una cara nueva aparece en la que se repetirá este proceso. La influencia de los terremotos de enero y febrero de 2001 en El Salvador produjeron una gran cantidad de derrumbes y deslizamientos de TBJ en el AMSS (Bommer, J. et al. 1998, 2001; Bommer, J. y Rodríguez, C. 2003; Rolo et al. 2004).

- **Vegetación**

Las raíces se desarrollan más fácilmente cuando penetran los taludes a lo largo de sus fisuras y grietas de los taludes. Cuando las raíces se tornan más gruesas producen presión lateral en el interior de las discontinuidades, siendo la porción más externa la que se separa formando grietas abiertas e inestabilizando el talud. El engrosamiento de las raíces es mayor durante la estación lluviosa que en la seca y también es cuando la humedad es mayor en TBJ, por eso, en la estación lluviosa son más numerosos los derrumbes en este tipo de suelos.

Es debido a estos mecanismos de falla, que los taludes de TBJ son prácticamente verticales, y que muchos flujos de agua circulan entre quebradas. Las paredes de las quebradas forman una V cuando son jóvenes, pero a medida que pasa el tiempo y suceden derrumbes, las paredes son cada vez más inclinadas, acabando por ser las paredes verticales (sección tipo U), características de las quebradas viejas.

3.6 CARACTERÍSTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS

El Salvador está situado dentro del cinturón climático tropical o zona intertropical, cuyos límites están comprendidos por los trópicos de Cáncer y Capricornio; asimismo el país está caracterizado por presentar condiciones térmicas similares durante todo el año, produciendo como resultado oscilaciones de las precipitaciones a nivel mensual y la existencia de dos épocas climáticas marcadas: la época seca y la época lluviosa, con sus respectivos períodos de transición. La primera, se presenta entre los meses de noviembre a abril y la segunda de mayo a octubre con un período de reducción de las lluvias ente julio y agosto llamado canícula, siendo los meses más lluviosos septiembre y junio.

Los factores que condicionan el régimen climático del país son los siguientes:¹²

- El relieve del país.
- La Zona de Convergencia Intertropical.
- Los vientos Alisios.
- Las ondas tropicales o del Este.
- La influencia de la brisa marina del Océano Pacífico.
- El anticiclón subtropical del Atlántico o de las Islas Bermudas.
- Los frentes fríos desplazados por masas de aire frío y continental de origen polar.
- Los centros térmicos débiles de baja presión atmosférica.
- Los sistemas ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes.

¹² Servicio Hidrológico Nacional. "Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, Componente Evaluación de Recursos Hídricos". Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), 2005.

3.6.1 PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA EN ESTUDIO

Para determinar las características hidrometeorológicas que presenta la cuenca se ha consultado la estación meteorológica S-10 Aeropuerto de Ilopango (SNET), que está ubicada en el Aeropuerto de Ilopango, municipio de Ilopango a una elevación de 615 msnm y en las coordenadas N13°41.9', W89°07.1', siendo esta representativa de la cuenca alta del río Las Cañas.

Según dicha estación el monto pluvial anual es de 1,800mm de lluvia, cuyos valores máximos se dan entre los meses de junio a octubre coincidiendo con la época lluviosa del país, mostrando además meses de transición entre las épocas seca y lluviosa (mayo y noviembre) donde se tienen niveles de precipitación notables. Conforme a las estadísticas de la Estación ubicada en el Aeropuerto de Ilopango (Ubicación: 13° 41.9' de Latitud Norte y 89° 07.1' de Longitud Oeste y 615 msnm de elevación), la mayor cantidad de precipitación registrada se da en el mes de septiembre siendo éste su mayor pico, seguido por los meses de julio, octubre y junio (Ver Gráfico N°3.1).

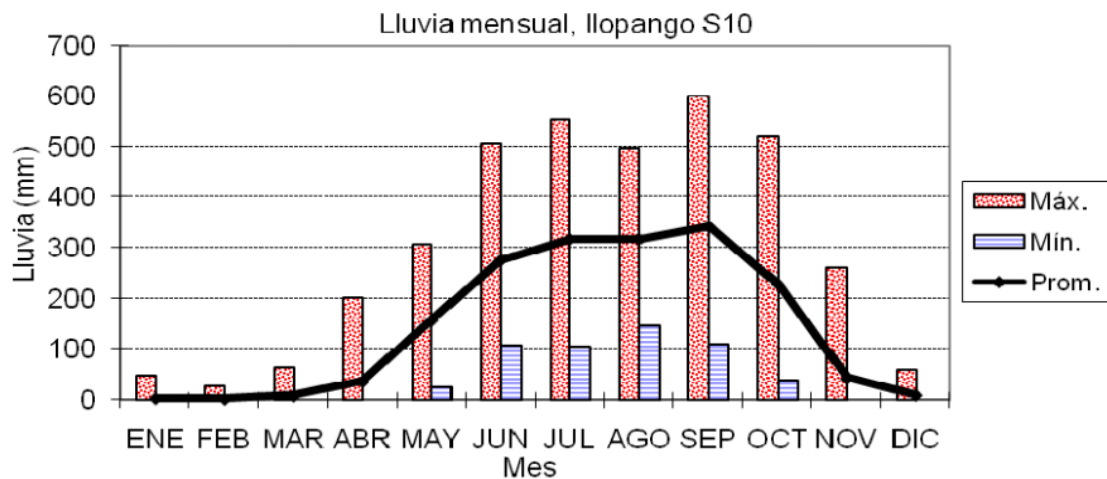


GRÁFICO N°3.1: Distribución mensual de lluvia en la Estación Ilopango S10.
FUENTE: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET.

Los cauces de los ríos que drenan el Área Metropolitana de San Salvador se caracterizan por llevar caudales muy irregulares a lo largo del año. Los mayores ríos del AMSS presentan caudales medios en verano del orden de 0.4 a 0.8 m³/s, pequeños comparados con los de la época lluviosa que llegan a ser mayores de 200 m³/s. En ocasiones las corrientes alcanzan grandes velocidades y junto a ello desbordamientos por los grandes caudales, estas corrientes tienen un poder erosivo realmente alto y lleva asociado el socavamiento de los márgenes del río y por tanto erosión en Cárcavas y deslizamientos. Estas variaciones tan grandes se dan entre época de verano y de invierno, pero pueden darse también a escala de semanas o días.

Es notable que el Área Metropolitana de San Salvador carece de un adecuado manejo de la escorrentía superficial; se ha rebasado la capacidad de la red colectora y de las obras de paso, además algunas obras de protección no tienen un diseño conforme a las necesidades actuales, muchas de ellas se han visto afectadas por falta de mantenimiento y reducidas en su vida útil.

3.6.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS DE LA CUENCA

La Estación Meteorológica se encuentra cercana a la cuenca del lago de Ilopango, está caracterizada por terrenos semiplanos, la zona orográfica es accidentada hacia la cuenca del lago de Ilopango, se presentan condiciones climáticas y edáficas similares en todo el alrededor de la cuenca, predominando las cenizas volcánicas (tierra blanca), cultivos variados y zonas urbanas en los alrededores.

La región donde se ubica la estación y la cuenca en estudio se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente ó Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (730 msnm).

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona en análisis se clasifica como "**Bosque húmedo subtropical**" (con biotemperatura y temperatura del aire, media anuales < 24 °C).

Los rumbos de los vientos son predominantes del Norte durante la estación seca y la estación lluviosa, la brisa marina del Sur y Sureste ocurre después del mediodía, la velocidad promedio anual es de 8 km/h.

A continuación se presenta un resumen de las diferentes variables climatológicas de la cuenca alta del río Las Cañas, según el perfil climatológico de la Estación S-10 Aeropuerto de Ilopingo:

VARIABLE	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Promedio °C	22.5	23.1	24.1	24.8	24.4	23.7	23.7	23.5	23	23.1	22.8	22.4
Temperatura Media de las Mínimas °C	16.6	17.2	18	19.3	20.2	19.9	19.3	19.5	19.5	19.2	18.2	17.3
Temperatura Media de las Máximas °C	30.4	31.4	32.2	32.4	31	29.9	30.1	30.2	29.1	29.2	29.4	29.8
Temperatura Mínima Absoluta °C	13.6	13.6	14.9	16.8	17.7	18	17.2	17.3	17.5	16.7	15.5	14.2
Temperatura Máxima Absoluta °C	32.5	33.8	34.6	34.9	33.8	32.1	32	32	31.5	31.3	31.3	31.5
Oscilación Máxima de las Temperaturas	18.9	20.2	19.7	18.1	16.1	14.1	14.8	14.7	14	14.6	15.8	17.3
Viento Velocidad Promedio km/hr	10.6	10.7	8.9	9.1	7.6	6.5	7.1	6.2	5.8	7.2	9	10.4
Viento Rumbo Dominante	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Nubosidad en /10	2.9	3	4	5.1	6.8	7.8	7.5	7.6	8	7.3	4.9	3.1
Humedad Relativa %	67	65	57	71	79	83	81	82	85	82	76	71
Evapotranspiración Potencial mensual (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124

TABLA N°3.2: Características Climáticas de la Estación meteorológica del Aeropuerto de Ilopingo S-10.

FUENTE: Perfil Climático, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET.

3.7 HIDROLOGÍA

La cuenca alta del río Las Cañas abarca una extensión de 28.67 km², se ubica entre las cuencas de los ríos, Cuapa, El Chagüite, La Jutera, Acelhuate, entre otros; su red de drenaje la componen ríos y quebradas de invierno entre ellos están los ríos Sumpa y Las Cañas, y las quebradas Arenal Seco, Arenal San Bartolo, Las Pavas y El

Caracol, entre otras (Ver en Anexo N°1, Mapa N°3.1, CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, HIDROLOGÍA BASE).

El cauce principal es el río Las Cañas, cuya dirección es de sur a norte. Sin embargo, el cauce más largo corresponde a la quebrada Arenal Seco, este tiene su nacimiento al nororiente de la cuenca en el municipio de San Martín, en su parte alta la quebrada tiene forma trezada (Leopold Colman, 1957) por sus múltiples afluentes, drenando en dirección de norte a sur, conforme va avanzando hacia aguas abajo cambia hacia el poniente donde presenta en forma rectilínea (Leopold Colman, 1957), posteriormente cambia de curso hacia el norte hasta su confluencia con el río Las Cañas donde la quebrada presenta forma Meandriforme (Leopold Colman, 1957), a su paso la red de drenaje de la cuenca atraviesa zonas urbanas y semiurbanas, que hacen sus descargas en su mayoría sin obras adecuadas para verter aguas lluvias y aguas negras, algunas quebradas han sido rellenados para dar paso a más área de suelo útil para urbanizar esto trayendo una reducción en la capacidad hidráulica de transporte de agua; además la construcción de urbanizaciones ha modificado la áreas de escurrimiento en las cuencas, en algunos casos, los colectores de aguas lluvias drenan hacia pequeñas quebradas que no poseen la capacidad para transportar los caudales requeridos, ocasionando cambios en su recorrido hacia aguas abajo, y como consecuencia aumento de la erosión y mayor transporte de sedimentos.

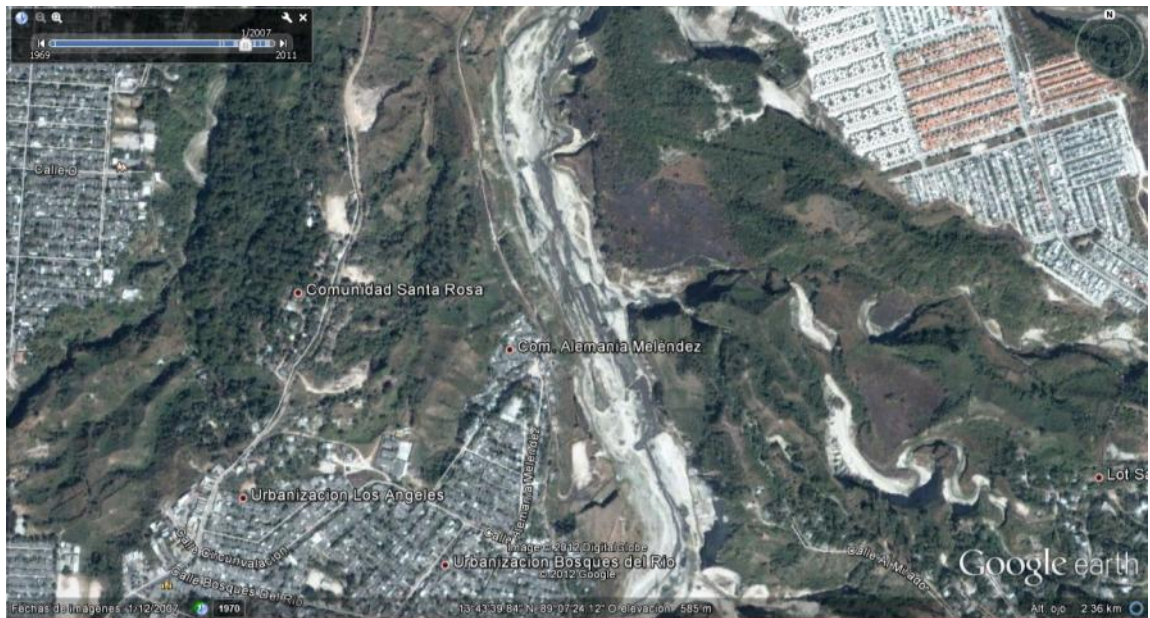
El río Las Cañas presenta un alto poder erosivo, el cual ha esculpido a sus costados laderas escarpadas de varias decenas de metros de altura. Su lecho en su recorrido hacia aguas abajo presenta numerosos estrechamientos y ensanchamientos los que están en continuo desarrollo de acuerdo a la consolidación y/o resistencia del suelo que se halla en el lecho y las laderas.

El nivel base del río se ve afectado por cambios en el lecho, como también por el aumento en la velocidad del flujo y caudal, y por las constantes extracciones de arena para ser usada como material de construcción dadas sus buenas propiedades físicas y mecánicas, esto produce un desequilibrio en el transporte y depósito de sedimentos en el río, el que busca su estabilización, trasladando el problema hacia aguas arriba, donde el río para compensar este desequilibrio arrastra las partículas de suelo como producto del desprendimiento debida a la erosión.

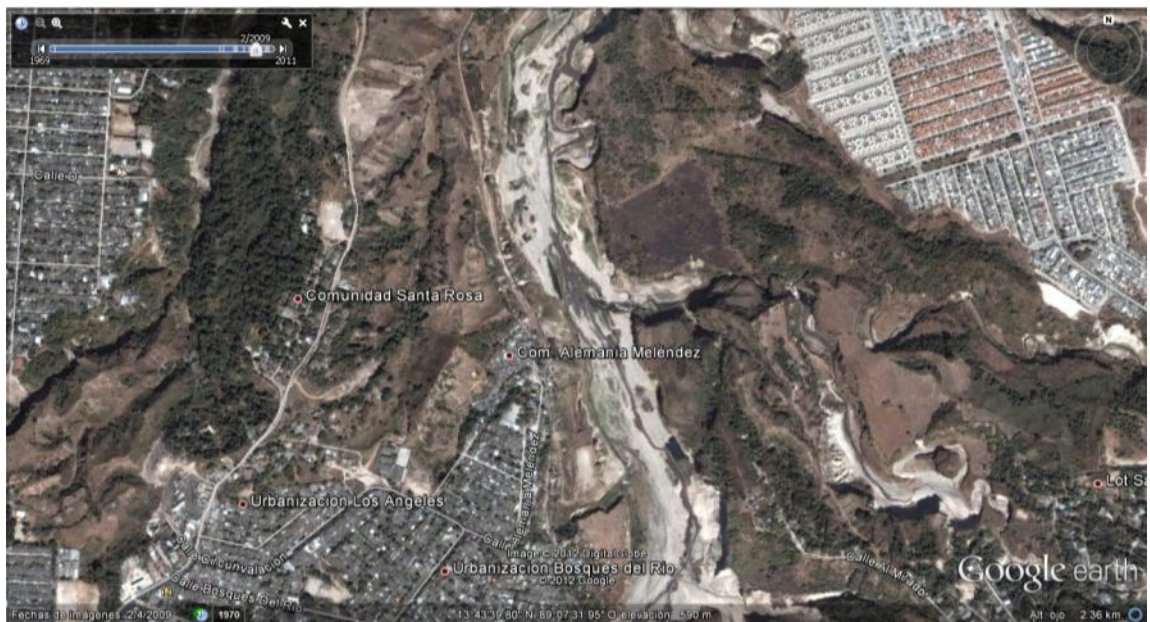
A continuación se presentan unas imágenes satelitales comparativas (Ver esquemas N°3.5 – N°3.10), en las que se muestra un tramo del río Las Cañas, aguas abajo de la obra de paso de la Carretera de Oro donde se evidencia el constante cambio de curso del río, mostrando que este no se ha estabilizado, arrastrando y depositando material constantemente, lo que no ha permitido el crecimiento de vegetación en las laderas del río.



ESQUEMA N°3.5: Fotografía tomada en septiembre de 2005.
FUENTE: Google Earth.



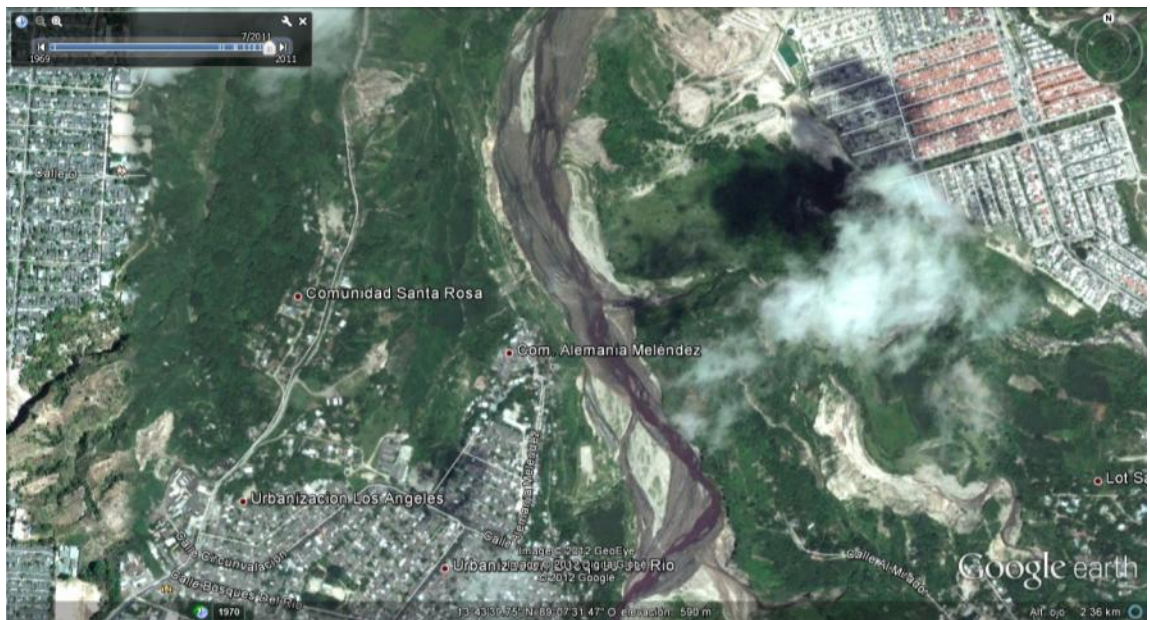
ESQUEMA N°3.6: Fotografía tomada en enero de 2007.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.7: Fotografía tomada en febrero de 2009.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.8: Fotografía tomada en febrero de 2011.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.9: Fotografía tomada en julio de 2011.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.10: Fotografía tomada en noviembre de 2011.
FUENTE: Google Earth.

3.8 FACTORES ANTRÓPICOS

La intervención humana en el medio físico produce cambios importantes que con el tiempo contribuyen en la generación de muchos desastres en la naturaleza, la construcción de viviendas en lugares no apropiados, la deforestación, el inadecuado manejo de las aguas lluvias o servidas y la falta de mantenimiento de dichos sistemas, son uno de los factores que han influido en la generación de Cárcavas en la cuenca en estudio. Los cambios en los usos de suelos debido al crecimiento urbano influyen en la hidrología generando más escorrentía superficial, aumentando la erosión y el caudal de ríos y quebradas. Existe una relación entre la ocurrencia de Cárcavas y la rapidez de los procesos de urbanización, en especial de los desarrollos desordenados. Los casos más graves ocurren en áreas geotécnicamente susceptibles y con desarrollo urbano rápido y no planificado. En el Mapa N°3.4 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, VULNERABILIDAD A LA EROSIÓN, en Anexo N°4.

En la zona en estudio se puede observar construcciones en lugares que no son adecuados para los asentamientos humanos ya que presentan riesgos para la población, se pudo observar como existen viviendas a la corona de taludes sin respetar la zona de protección que debería de existir en estos, las aguas negras y aguas lluvias provenientes de las casas escurren sobre los taludes sin existir un sistema de descarga adecuado que evite generar el proceso de erosión en el suelo. (Ver Fotografía N°3.3)

En el Mapa N°3.5 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS, ÁREA URBANA (Ver en Anexo N°5), se muestra la expansión de la mancha urbana sobre la cuenca en estudio, en donde el área urbana corresponde aproximadamente a un 76% del área de la cuenca, el 24% restante a área rural y semiurbana.



FOTOGRAFÍA N°3.3: Casas en la corona del Talud, Rivera del Río las Cañas, Ilopingo, 2011.

La cobertura vegetal presente determina una mayor o menor protección contra el impacto de la lluvia o la acción de las corrientes de agua. Adicionalmente, la vegetación retarda la escorrentía regulando los picos de caudal de las corrientes. Al eliminar la

protección vegetal (cualquiera que ésta sea) se deja el terreno expuesto al impacto de las gotas de lluvia, las cuales producen erosión laminar, seguida por formación de surcos, los cuales pueden convertirse en Cárcavas. La situación se agrava aún más cuando se remueve la parte superficial del terreno o descapote, la cual funciona como una segunda capa de protección natural contra la erosión y la infiltración de agua.

Uno de los fenómenos que más se observa en la zona de estudio es la formación de Cárcavas por la escorrentía superficial y subterránea, debido a la influencia de los factores antes mencionados. A continuación se presentan unas imágenes donde se puede la formación de Cárcavas en la zona de estudio.



FOTOGRAFÍA N°3.4: Tuberías colapsadas en Cárcava de la Colonia Santa Lucía en Ilopango.
FUENTE: Ministerio de Obras Públicas.

En las fotografías N°3.4 y N°3.5, se puede observar tuberías de aguas lluvias los cuales han generado la formación de Cárcavas, la influencia de estos factores y la geología del lugar son propicios para la formación de estas grandes socavaciones.



FOTOGRAFÍA N°3.5: Tubería de aguas lluvias Colapsada en Cárcava de la Colonia Santa Lucía en Ilopango.

FUENTE: Ministerio de Obras Públicas.



FOTOGRAFÍA N°3.6: Cárcava Las Cañas en Ilopango.

FUENTE: <http://www.lapagina.com.sv/nacionales>



FOTOGRAFÍA N°3.7: Cárcava Llano verde, Ilopango.

FUENTE: Ministerio de Obras Públicas.

En las Fotografías N°3.6 y N°3.7, se pueden observar las Cárcavas del Reparto Las Cañas y Llano Verde en Ilopango, donde se aprecia cómo las viviendas se encuentran en la corona de la Cárcava, en estos sitios decenas de casas tuvieron daños y muchas de ellas colapsaron. En el Reparto Las Cañas fueron afectadas alrededor de 140 casas (Fuente: La Prensa Gráfica, 19 junio 2010).

El mantenimiento y seguimiento de las obras de protección es muy importante y puede evitar que un problema pueda generarse de nuevo en el mismo lugar en condiciones más desastrosas de las que ya ocurrieron, en las fotografías siguientes se presenta una obra de paso sobre el río Las Cañas, km 4+350 Autopista San Salvador – San Miguel, la cual en el año 2003 dicha estructura colapsó y derrumbó un carril de la autopista. (Ver Fotografía N°3.8). En ese momento se construyó una caja más para facilitar el flujo del cauce del río.



FOTOGRAFÍA N°3.8: Caja Triple sobre río Las Cañas, km 4+350 Autopista San Salvador – San Miguel, vista de la salida del río, estructura colapsada.

Para el año 2011 dicha obra de Paso se encontraba en reparación por el colapso de parte de su estructura, se puede observar en las Fotografías N°3.9 y N°3.10, los surcos que se han formado en el talud en la margen derecha del río, además la cimentación de las cajas se ha socavado y puede debilitar aún más la estructura. En esta obra se puede apreciar lo susceptibles que son los suelos de esa zona presentan a los procesos erosivos y los desastres que se pueden generar.

En los esquemas N°3.11 y N°3.12 se presentan imágenes satelitales, donde se muestra cómo la expansión del área urbana ha crecido en un período de aproximadamente 7 años, (círculos, rojo y azul) esto trae como consecuencia un cambio en el uso de suelo y una mayor área impermeable.



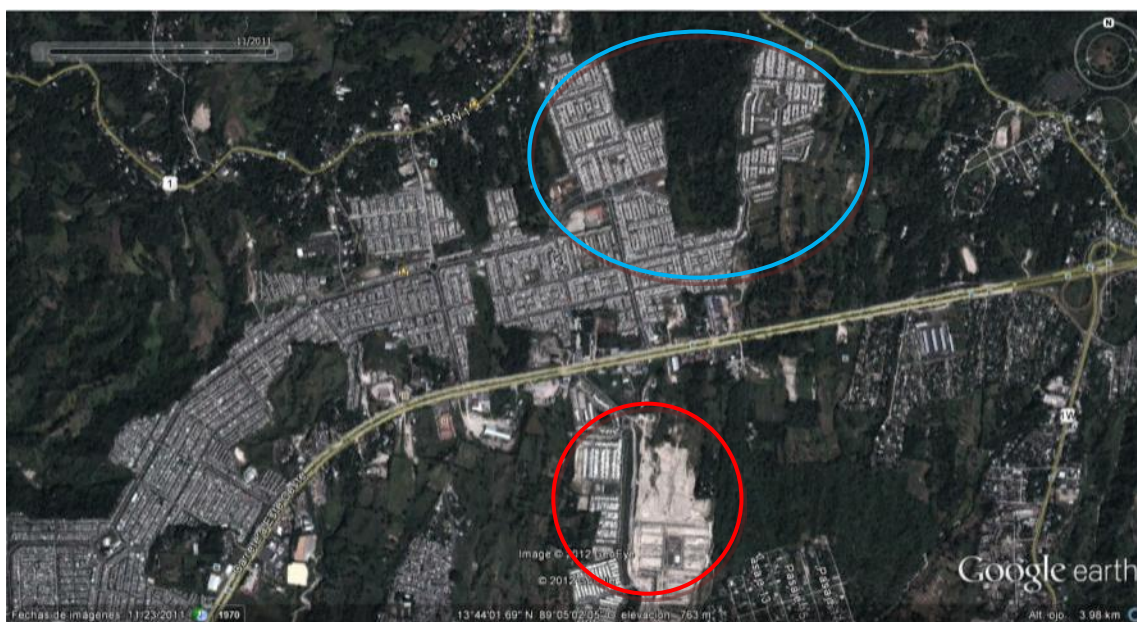
FOTOGRAFÍA N°3.9: Caja Cuádruple sobre Río Las Cañas, km 4+350 Autopista San Salvador – San Miguel. Septiembre 2011



FOTOGRAFÍA N°3.10: Caja Cuádruple sobre Río Las Cañas, km 4+350 Autopista San Salvador – San Miguel, Septiembre 2011.



ESQUEMA N°3.11: Fotografía tomada en enero de 2005.
FUENTE: Google Earth.



ESQUEMA N°3.12: Fotografía tomada en noviembre de 2011.
FUENTE: Google Earth.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE CÁRCAVAS

4.1 INTRODUCCIÓN

El problema de las Cárcavas en El Salvador ha causado grandes repercusiones, tanto económicas, como sociales y ambientales, poniendo en riesgo a los habitantes aledaños a los sitios en donde surge dicho fenómeno.

Los suelos de origen volcánico característicos de la zona central del país han sido los más afectados por el proceso erosivo, presentando una alta concentración de sitios con este tipo de erosión, debido a las características físicas y mecánicas que tienen dichos suelos y que favorecen el surgimiento de las Cárcavas.

En el presente capítulo se propone una metodología para evaluar las condiciones en que se encuentran las Cárcavas analizadas, en función de las características que éstas presentan al momento de la visita, con la finalidad de ponderar el grado de deterioro de cada una de ellas.

Para ello ha sido necesario realizar levantamientos de información en campo, entrevistas con pobladores afectados por el fenómeno y personas expertas en el tema, quienes brindaron información de cada problema en particular. En total se visitaron doce Cárcavas las cuales se evaluaron para conocer sus características y condiciones físicas, a través de un sistema de análisis en el que se establecieron categorías de evaluación, a cada una se le asignó una ponderación, siendo máximo el valor más desfavorable, esto sirvió para determinar la magnitud del deterioro por el avance de la erosión en cada Cárcava.

4.2 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CÁRCAVAS

Como primer paso para desarrollar la metodología de evaluación de las Cárcavas se realizaron levantamientos de información en campo, para ello se elaboró una Ficha Técnica (Ver en Anexo N°6, Formato de Ficha de Levantamiento de Información de Cárcavas) la que permitió recabar la información de las características y condiciones que presentaban cada una de las Cárcavas visitadas en la zona de interés.

Las visitas tuvieron como objetivo constatar las condiciones reales en las que se encuentra la zona y el avance del deterioro del suelo debido al proceso erosivo, también realizar levantamientos de datos con la información necesaria para luego poder evaluar cada una de las Cárcavas, en base a los criterios que se establecen en la metodología para la evaluación.

Con la ficha técnica se determina la ubicación, la fecha en que se originó el proceso erosivo, la población y viviendas estimadas que se encuentran en riesgo, dimensiones, vegetación, las características geológicas y topográficas, el proceso en que se encuentra la Cárcava, si ha tenido alguna intervención o no y los factores que han influido en la generación de ésta.

Además de las visitas de campo, se realizaron entrevistas a los habitantes afectados por la problemática y trabajadores de la Alcaldía Municipal de Ilopango; se recopiló información en noticias y documentos, entre otros, que nos brindaron información específica de cada fenómeno.

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FICHA TÉCNICA

El instrumento que se utilizó para el levantamiento de información de campo está compuesto por las siguientes partes:

1. Ubicación Geográfica.

La ubicación geográfica de cada sitio visitado se obtiene con el fin de identificar las zonas donde la problemática de Cárcavas tiene mayor frecuencia, lo anterior se realizará a través de la generación de un mapa con la ubicación de los sitios visitados, con el objetivo de conocer las características de estos lugares que favorecen el surgimiento de dicho problema, por ejemplo si se trata de una zona urbanizada, existe algún cuerpo hídrico, etc. Para determinar la ubicación geográfica se debe utilizar cualquier equipo de posicionamiento global como el GPS, con el que se obtienen las coordenadas geográficas del sitio de interés para ubicar con precisión cada Cárcava.

2. Datos Generales de la Cárcava.

Los datos generales que aporta cada Cárcava sirven de apoyo para conocer las condiciones que influyen en la generación de los procesos erosivos hasta llegar a convertirse en Cárcavas, además la afectación e influencia que éstas tienen sobre las comunidades ubicadas en las cercanías de estos sitios. Para ello será necesario obtener las siguientes variables:

- **Fecha en que se originó el fenómeno:** se investigará la fecha y/o evento¹³ que originó el proceso erosivo, esta información se recaba para conocer cuánto

¹³ Este evento puede ser climático, sísmico, etc.

tiempo tiene cada Cárcava de haberse originado en la zona en estudio, además si existe algún patrón en común en la generación de las mismas.

- **Número de habitantes o población afectada:** Se estimará el número de viviendas afectadas para determinar su población correspondiente, asumiendo 5 habitantes por vivienda¹⁴ dentro de la zona de afectación de la Cárcava; con el objetivo de conocer la cantidad de personas que viven en riesgo por el avance del proceso erosivo en cada Cárcava.

La zona de afectación se estimará de acuerdo a las condiciones particulares de cada sitio observadas durante las visitas realizadas para la recolección de información, (cercanía de las viviendas y vías de comunicación a la Cárcava, tamaño y forma de la Cárcava, entre otros).

- **Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:** es la distancia que existe desde la corona de la Cárcava hasta el lindero de las infraestructuras más cercanas, este parámetro sirve para estimar la vulnerabilidad de las infraestructuras aledañas debido al avance de la corona de la Cárcava.
- **Infraestructuras dañadas:** en este apartado se identificarán las diferentes infraestructuras (viviendas, escuelas, fábricas, calles, postes, colectores de aguas, entre otros) que se encuentran en riesgo o han presentado daños dentro de la zona de afectación por la presencia de la Cárcava, lo que se traduce en pérdidas económicas y sociales. Además nos permite verificar la influencia de los colectores de aguas lluvias en la generación de las Cárcavas.

¹⁴ Se considera 5 habitantes por vivienda, según la media nacional.

3. Cuerpo Hídrico Existente.

Se debe indagar en campo el cuerpo hídrico ya sea éste río o quebrada, que nos permita conocer a qué sub-cuenca pertenece cada una de las Cárcavas visitadas, el cual posiblemente afecte la progresión de la Cárcava. Este parámetro sirve para tomar en cuenta las medidas necesarias en el diseño de las obras de protección y evitar que los ríos o quebradas perjudiquen las obras durante la ocurrencia de eventos hidrológicos con precipitaciones extraordinarias.

4. Factor Detonante.

Se determina la causa que agudizó el proceso de erosión hasta llegar a convertirlo en Cárcava, pudiendo ser fenómenos hidrológicos de gran intensidad, sismos, entre otros. Estos eventos crearon las condiciones que originaron y/o aceleraron el proceso de erosión en cada sitio.

5. Dimensiones de la Cárcava.

Estos parámetros nos permiten establecer las dimensiones de cada Cárcava y estimar el volumen de pérdida de suelo que ha tenido lugar en cada sitio, tal como se detalla a continuación:

- **Altura:** es la diferencia de nivel entre la corona y el pie de la Cárcava.
- **Ancho:** distancia horizontal entre los límites laterales de la Cárcava.
- **Largo:** es la distancia horizontal desde la corona al pie de la Cárcava.
- **Pendiente:** representa la inclinación en grados de la Cárcava, tomando como base el plano horizontal.

6. Topografía.

Este parámetro permite identificar las condiciones topográficas que existen en la zona en estudio, la cual se clasifica en:

- **Plana:** es una topografía sin relieve.
- **Suave:** presenta un relieve suave, hasta un ángulo de inclinación de 30° como máximo con respecto a la horizontal.
- **Moderada:** es una topografía con un relieve medio, con un ángulo de inclinación de más de 30° hasta 60° con respecto a la horizontal.
- **Fuerte:** topografía con un alto relieve con un ángulo de inclinación de más de 60° hasta 90° con respecto a la horizontal.

7. Cobertura Vegetal.

Se verificará en campo la densidad de vegetación existente en el área afectada por la formación de la Cárcava, con el objetivo de constatar la protección que la superficie posee para contrarrestar el proceso, tal como se detalla a continuación:

- **Nula:** no hay vegetación existente en la zona.
- **Escasa:** existe vegetación hasta el 25% del área de la Cárcava.
- **Media:** existe vegetación en más de 25% hasta el 50% del área de la Cárcava.
- **Abundante:** existe vegetación en más de 50% hasta el 100% del área de la Cárcava.

8. Uso de Suelo.

El uso de suelo es un parámetro muy importante en el análisis de las Cárcavas ya que éste junto con otros factores¹⁵, definen los caudales de escorrentía superficial que escurren en un área determinada, que luego servirán para el cálculo de las obras hidráulicas. Se identificará el uso de suelo de las áreas de influencia en la zona de la Cárcava, de acuerdo a lo observado en las visitas para cada sitio, tal como se detalla a continuación:

- **Rural:** esta área comprende las zonas con vegetación densa destinadas como zonas de protección, zonas verdes, predios baldíos, etc. Además se puede mencionar que estos no cuentan con sistemas de aguas lluvias.
- **Semi - Urbano:** esta área comprende áreas con viviendas dispersas que cuentan con áreas verdes considerables.
- **Urbano:** esta área comprende urbanizaciones densamente pobladas que cuentan con los servicios básicos necesarios.

9. Materiales Geológicos Existentes.

Se identificarán los diferentes materiales geológicos y los estratos que conforman los taludes, esto nos brindará información acerca de las características de los suelos que yacen en cada sitio, además permitirá conocer la vulnerabilidad de los suelos al proceso de erosión y constatar que el fenómeno de Cárcavas no corresponde a problemas de estabilidad de taludes sino a la susceptibilidad que los materiales presentan a sufrir procesos erosivos.

¹⁵ Pendiente, características físicas del suelo, entre otros.

10. Probabilidad a Sufrir Efectos Erosivos por Descargas de Aguas Lluvias y/o Negras Sobre los Taludes.

Se refiere al grado de vulnerabilidad que presentan los taludes a continuar con el proceso de erosión debido a descargas inadecuadas de aguas lluvias y/o negras.

- **Existe:** cuando se encuentre cualquiera de los dos siguientes casos:
 1. Descargas directas de aguas lluvias y/o negras en los taludes de la Cárcava (Ver Figura N°4.1) lo cual satura el suelo, cambiando sus propiedades mecánicas.

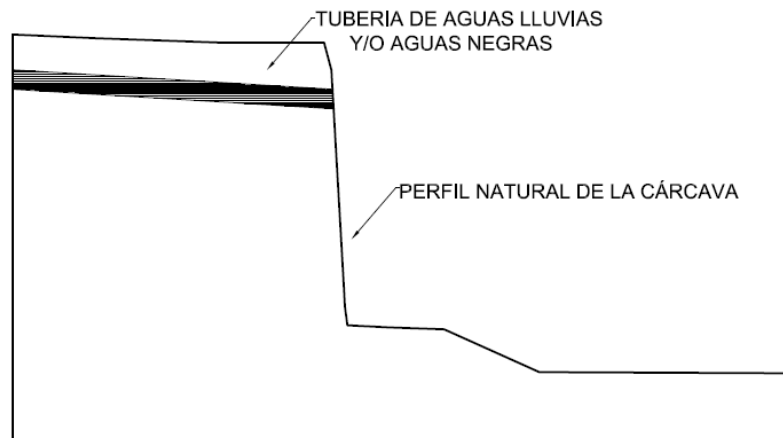


FIGURA N°4.1: Esquema de descarga de aguas lluvias y/o negras en talud de Cárcava

2. Cuando la corona de la Cárcava se encuentre en un ángulo con el que la escorrentía superficial esté descargando hacia los taludes de la Cárcava (Ver Figura N°4.2).

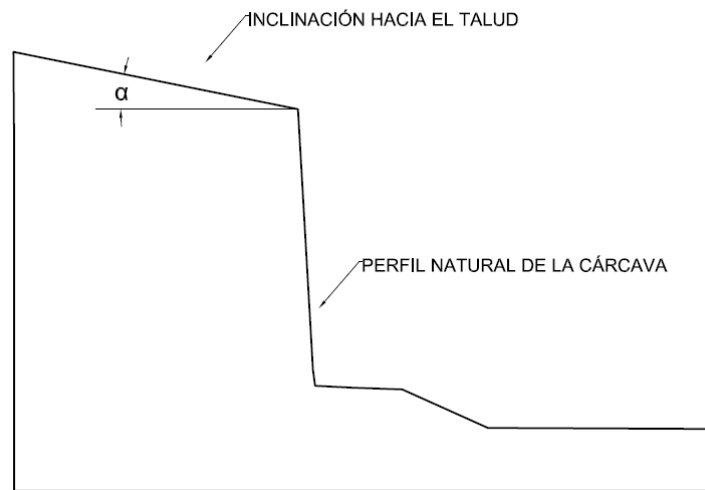


FIGURA N°4.2: Esquema de inclinación de corona hacia el talud de Cárcava.

- **No existe:** Cuando no se presenten ninguno de los dos casos anteriores.

11. Proceso de Intervención en la Cárcava.

Este apartado nos servirá para conocer el proceso en el que se encuentra cada Cárcava, y la cantidad de sitios a los cuales se les ha dado solución a través de obras de protección y la cantidad de sitios que aún no las tienen.

Se identifica el proceso de intervención de la Cárcava, las cuales se clasifican en:

- **Carpeta Técnica:** si se posee los estudios básicos necesarios y diseños de las obras de remediación.
- **Adjudicación:** si se ha asignado a alguna empresa la ejecución de las obras de remediación.
- **Intervención:** si se ha comenzado la ejecución de las obras de protección y están en proceso de construcción.

- **Finalizada:** si se ha terminado la ejecución de las obras de protección.
- **Ninguna de las anteriores:** si la Cárcava no presenta intervención, ni posee estudios y/o diseños para darle solución a la misma.

Esta intervención puede ser por parte de alguna institución gubernamental o municipal, institución privada o por parte de la misma comunidad.

12. Observaciones.

Se debe incluir cualquier información que se considere relevante y que no se encuentra en los apartados anteriores.

13. Recomendaciones.

Se debe incluir medidas que se tienen que tomar de inmediato, observadas en la visita de campo, por ejemplo: cortar líneas de aguas que estén descargando en los taludes, demolición de construcciones que se encuentren en la corona, hacer un sistema de contracunetas provisional para desviar las aguas superficiales, crear bordillos que impidan que el agua llegue al área crítica de la Cárcava, evacuación de población aledaña que se encuentre en riesgo, entre otros.

Además, la ficha técnica cuenta con apartados para registrar fotográficamente las condiciones existentes de la Cárcava y para elaborar esquemas tanto en planta como en elevación de la Cárcava, con el objetivo de visualizar de una manera gráfica las condiciones que presenta el fenómeno al momento de la visita y comprender de una mejor manera el problema.

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CAMPO

En total se visitaron doce Cárcavas, las que se evaluarán en base a las características presentadas. (Ver en Anexo N°7, Fichas Llenas de Levantamiento de Información de Cárcavas Visitadas). En la Tabla N°4.1 se presentan las coordenadas de ubicación y elevación de cada Cárcava visitada, todas pertenecen al Municipio de Ilopango del departamento de San Salvador:

N°	CÁRCAVA	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (m.s.n.m.) EN LA CORONA DE LA CÁRCAVA
		X (° W)	Y (° N)	
1	Reparto Las Cañas	89.116	13.715	557
2	Comunidad Vista al Lago, Santa Lucía	89.096	13.702	640
3	Colonia Llano Verde	89.104	13.696	635
4	Urbanización La Cima 1, San Bartolo	89.107	13.717	615
5	Reparto Jardines de San Bartolo	89.119	13.708	603
6	Lotificación San Gerardo	89.105	13.688	491
7	Entre las colonias Linda Vista y Modelo (3 de mayo)	89.110	13.690	629
8	Urbanización San Bartolo del Norte I	89.110	13.718	621
9	Colonia Santa Rosa	89.109	13.709	634
10	Comunidad Tasturbas y Residencial Altavista	89.102	13.717	635
11	San Bartolo del Norte 3	89.110	13.720	588
12	San Francisco de Asís	89.111	13.707	632

TABLA N°4.1: Coordenadas de Ubicación y Elevación de las Cárcavas.

En la figura N°4.3 se aprecia la ubicación de las Cárcavas visitadas, marcadas con círculos rojos y numeradas de acuerdo al número de ficha, las Cárcavas en su mayoría están localizadas en los límites entre las áreas urbanizadas y ríos o quebradas, asimismo se diferencian grupos de Cárcavas integradas a cuencas, como es el caso de las Cárcavas con números 4 y 11 que forman parte de la Quebrada El Caracol; la

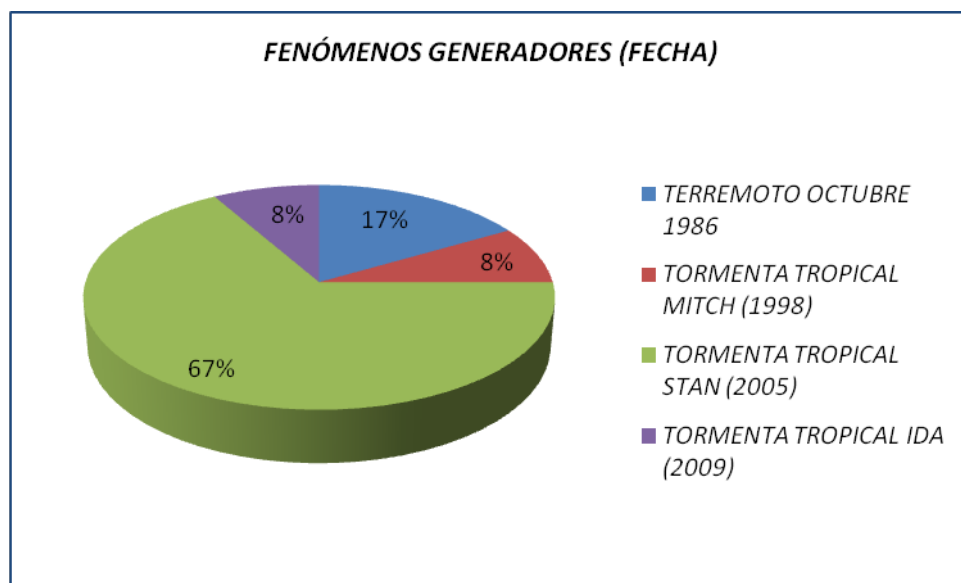
TABLA RESUMEN DE LAS FICHAS DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN																
N°	UBICACIÓN	COORDENADAS	ELEVACIÓN EN LA CORONA (msnm)	FECHA EN QUE SE ORIGINÓ	INFRAESTRUCTURA DAÑADA	CUERPO HÍDRICO PRESENTE	FACTOR DETONANTE	VIVIENDAS AFECTADAS	POBLACIÓN AFECTADA	DISTANCIA DE LA CÁRCAVA A LAS INFRAESTRUCTURAS MÁS CERCANAS (m)	ALTURA DEL TALUD (m)	PENDIENTE (grados)	TOPOGRAFÍA	USO DE SUELO	PROBABILIDAD A EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O NEGRAS	ESTADO DE LA CÁRCAVA
1	Reparto Las Cañas. Ilopango, San Salvador	X: 89.116183° W Y: 13.715037° N	577	Tormenta Tropical Stan (2005)	Casas, Colector de Aguas Lluvias de 72".	Río Las Cañas	Colapso de Colector	0	0	En la Corona de la Cárcava	30	60	Moderada	Urbano	No Existe	Intervenida se Encuentran en Construcción las Obras de Mitigación
2	Comunidad Vista al Lago, Santa Lucía, Ilopango, San Salvador	X: 89.095764° W Y: 13.701604° N	640	Tormenta Tropical Stan (2005)	Tubería de Aguas y Descarga de Aguas Lluvias.	Río La Jutera	Colapso de Colector	15	75	En la Corona de la Cárcava	20	90	Fuerte	Semi Urbano	Existe	Intervenida, Obras de Control de Escorrentía
3	Colonia Llano Verde, Ilopango, San Salvador.	X: 89.103999° W Y: 13.696201° N	635	Tormenta Tropical Stan (2005)	Casas, Tuberías y Pozos de Aguas Lluvias.	Río La Jutera	Colapso de Colector	0	0	En la Corona de la Cárcava	40	90	Fuerte	Urbano	No Existe	Intervenida, se Encuentran en Construcción las Obras de Mitigación
4	Urbanización La Cima 1 San Bartolo, Ilopango Departamento de San Salvador	X: 89.10658° W Y: 13.71709° N	615	Tormenta Tropical Stan (2005)	Colector de Aguas Lluvias y Calle de Acceso	Quebrada El Caracol	Colapso de Colector	0	0	En la Corona de la Cárcava	15	60	Moderada	Urbano	No Existe	Finalizada
5	Reparto Jardines de San Bartolo, del municipio de Ilopango, departamento de San Salvador	X: 89.118776° W Y: 13.70784° N	603	Terremoto Ocurrido el 10 de Octubre del Año 1986.	Tuberías de 24" y Descarga de Aguas Lluvias.	Quebrada Arenal San Bartolo	Colapso de Colector	130	650	10	30	85	Fuerte	Urbano	Existe	Carpeta Técnica
6	Lotificación San Gerardo, Ilopango, junto al río La Jutera	X: 89.10538° W Y: 13.68819° N	491	Tormenta Tropical Stan (2005)	Muros de Gaviones Colapsados	Río La Jutera	Falta de Colector	5	25	10	4	40	Moderada	Semi Urbano	Existe	Sin Intervención
7	Entre las colonias Linda Vista y Modelo (llamada 3 de mayo)	X: 89.10999° W Y: 13.69013° N	629	Tormenta Tropical Stan (2005)	Colapso de parte de la Estructura de Descarga. La Cárcava Podría Dañar Algunos Hangares e Infraestructura del Aeropuerto de Ilopango.	Río Chaguíte	Colapso de Colector	130	650	10	20	70	Fuerte	Urbano	Existe	Sin Intervención
8	Urbanización San Bartolo del Norte I y Asociación Desarrollo Comunal Las Lilas II	X: 89.11033° W Y: 13.71819° N	621	Tormenta Tropical Mitch (1998)	Colapso de la Estructura de Descarga de Aguas Lluvias	Quebrada El Arenal	Colapso de Colector	12	60	5	25	90	Fuerte	Semi Urbano	Existe	Intervención Parcial
9	Colonia Santa Rosa, Ilopango, San Salvador.	X: 89.10931° W Y: 13.7087° N	634	Tormenta Tropical Stan (2005)	Casas, Tuberías y Pozos de Aguas Lluvias.	Río Las Cañas	Colapso de Colector	10	50	En la Corona de la Cárcava	20	85	Fuerte	Urbano	Existe	Carpeta Técnica
10	Comunidad Tasturbas y Residencial Altavista, Ilopango, San Salvador.	X: 89.10246° W Y: 13.71664° N	635	Tormenta Tropical Ida (2009)	Colapso de Tubería de ALL (D = 30 cm)	Quebrada Las Pavas	Colapso de Colector	45	225	10	3	80	Fuerte	Urbano	Existe	Carpeta Técnica
11	San Bartolo del Norte 3, Ilopango, San Salvador.	X: 89.10958° W Y: 13.71994° N	588	Tormenta Tropical Stan (2005)	Colapso de Tubería de Aguas Servidas (D = 6 in)	Quebrada El Caracol	Colapso de Colector	5	25	30	25	85	Fuerte	Semi Urbano	Existe	Sin Intervención
12	San Francisco de Asís, Ilopango, San Salvador.	X: 89.11101° W Y: 13.70728° N	632	Terremoto Ocurrido el 10 de Octubre del Año 1986.	Colapso de Tubería de Aguas Servidas y Lluvias: 3 Tuberías con D= 30 in y 2 Tuberías con D = 6 in	Quebrada Arenal San Bartolo	Colapso de Colector	3	15	5	8	85	Fuerte	Urbano	Existe	Sin Intervención

TABLA N°4.2: Resumen de Información de las Cárcavas Visitadas.

En base a la información obtenida durante las visitas de campo, la que fue recolectada en la Ficha Técnica, a continuación se muestran en forma gráfica las principales características de las Cárcavas visitadas:

- **Fecha y Fenómenos Generadores**, en este apartado se considera la posible fecha y fenómeno que originó el proceso erosivo de cada Cárcava, esta información fue recabada con los habitantes de la zona, personal de la Alcaldía Municipal de Ilopango y periódicos.

FECHA Y FENÓMENOS GENERADORES	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
TERREMOTO OCTUBRE 1986	2
TORMENTA TROPICAL MITCH (1998)	1
TORMENTA TROPICAL STAN (2005)	8
TORMENTA TROPICAL IDA (2009)	1
TOTAL	12

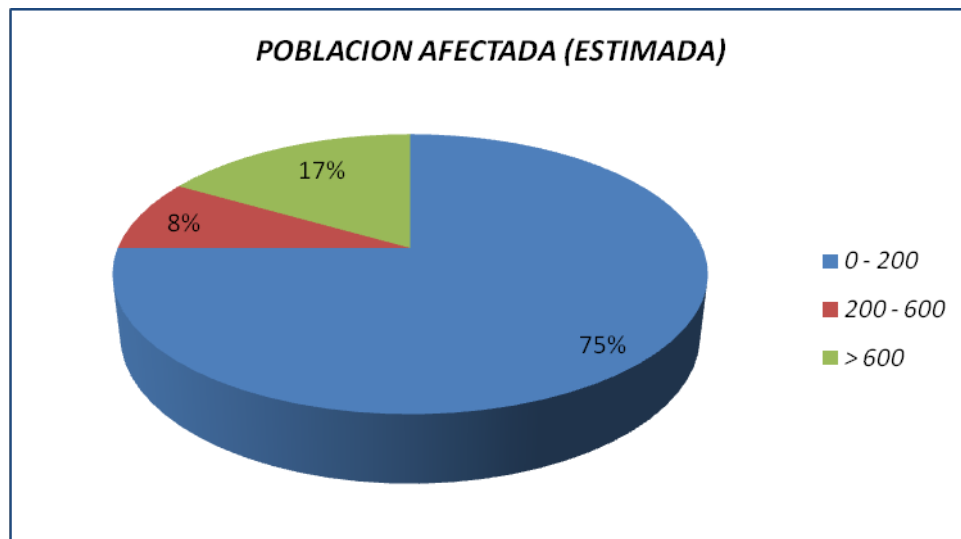


En los resultados obtenidos se observa la proliferación del fenómeno de las Cárcavas en los últimos 6 años aproximadamente, siendo la Tormenta Tropical Stan (2005) con el

67% la que ha originado el mayor número de las Cárcavas visitadas; el proceso erosivo ha sufrido aceleración debido a los eventos hidrometeorológicos subsiguientes que frecuentemente se han presentado desde su respectiva fecha de origen.

- **Población Afectada (Estimada)**, la mayoría de Cárcavas originadas en la zona se encuentran dentro de áreas urbanizadas afectando directamente viviendas como a las personas que las habitan, en este apartado se ha estimado la población afectada en función de las viviendas que se encuentran en riesgo debido a la amenaza que cada Cárcava presenta.

POBLACIÓN AFECTADA (ESTIMADA) (HABITANTES)	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
0 - 200	9
200 - 600	1
> 600	2
TOTAL	12



Se estimaron diferentes rangos de población afectada superando valores de 600 personas, se observa que un 75% de las Cárcavas afecta entre 0 y 200 personas sin embargo es de notar que todas las Cárcavas representan una amenaza para los

pobladores aledaños a dicho fenómeno. El estimado total de personas afectadas por el fenómeno de las Cárcavas visitadas es de 5,275 personas¹⁶, representando el 5.1% de los habitantes del Municipio de Ilopango, sin embargo no se han visitado todas las Cárcavas existentes en el municipio.

- ***Distancia de Cárcavas a infraestructuras más cercanas***, este parámetro sirve para estimar la vulnerabilidad en que se encuentran las estructuras más cercanas, las cuales pueden ser: viviendas, calles, fábricas, escuelas, etc., estableciendo la distancia que existe desde la corona de la Cárcava hasta el lindero de las infraestructuras más cercana.

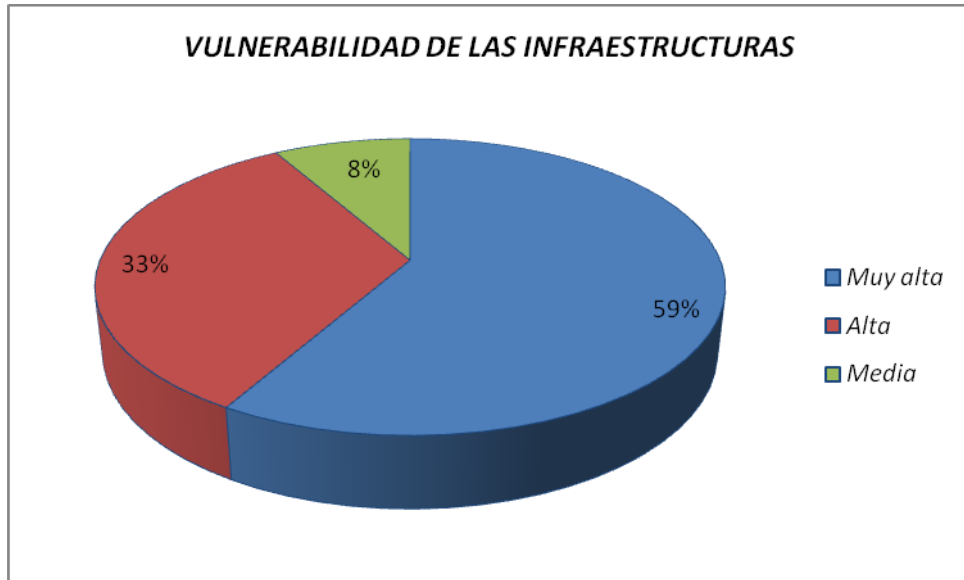
Muy alta: cuando existe una distancia de 0 a menos de 10 m.

Alta: cuando existe una distancia de 10 a menos de 20 m.

Media: cuando existe una distancia de 20 m o más.

VULNERABILIDAD	CANTIDAD
Muy alta	7
Alta	4
Media	1
TOTAL	12

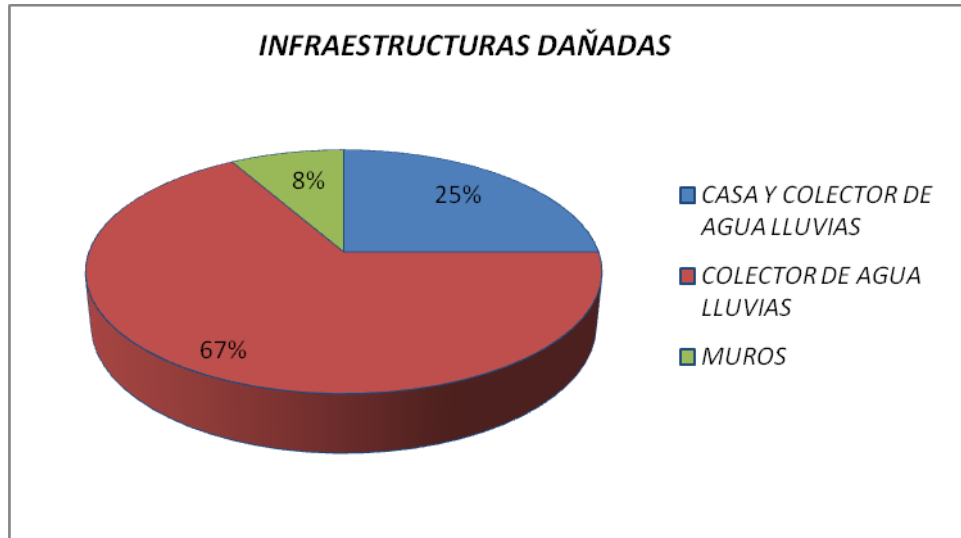
¹⁶ Este valor de personas afectadas es un estimado que se ha totalizado de las diferentes Cárcavas visitadas; sin embargo, este valor puede variar ya que para cada Cárcava se ha considerado un promedio de personas afectadas en base a los casas que se encuentran en riesgo.



El 59% de las Cárcavas se encuentran en un estado de vulnerabilidad muy alta, cuentan con distancias de 0 a menos de 10 m desde la corona de la Cárcava al lindero de la infraestructura más cercana, en algunos casos, éstas hasta han sufrido serios daños y han colapsado. Sin embargo, es de señalar que no todos los casos presentan las mismas condiciones y progresión del problema, por lo que en algunos sitios estas distancias disminuyen rápidamente afectando las obras adyacentes.

- **Infraestructuras Dañadas**, uno de los objetivos de las visitas técnicas era identificar las causas por las cuales se ve acelerado el proceso de erosión en las Cárcavas, donde se verificó de las Cárcavas visitadas que casi en su totalidad presentan daños en las infraestructuras de colectores y descargas de sistemas de aguas lluvias.

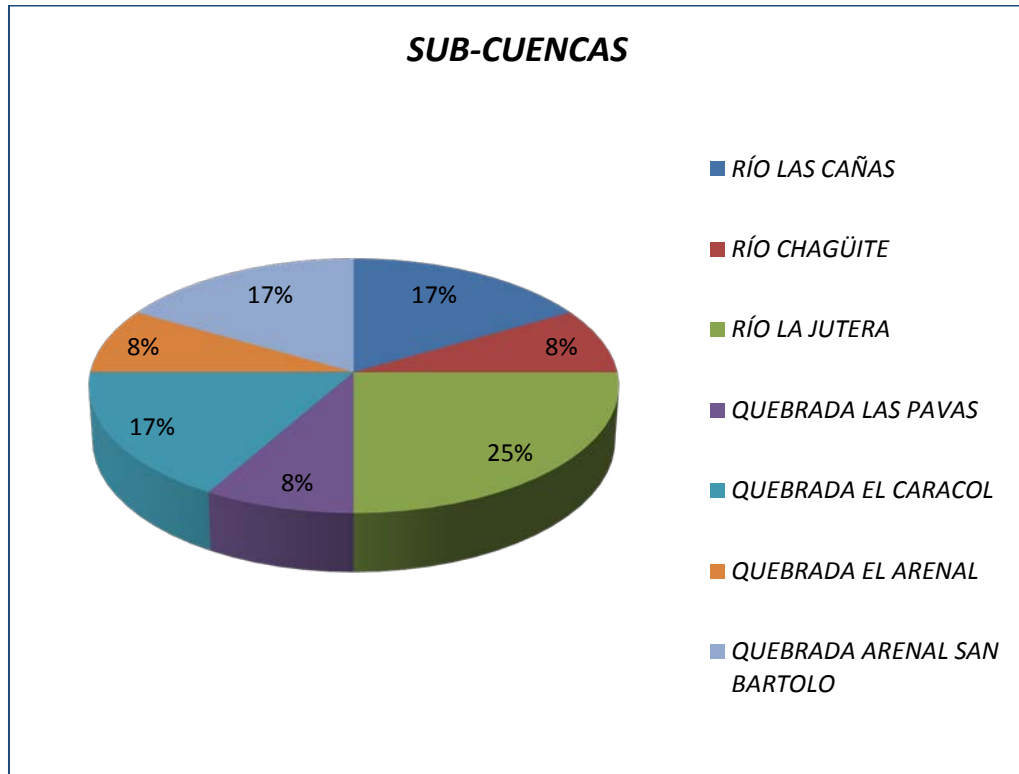
INFRAESTRUCTURAS DAÑADAS	CANTIDAD
CASA Y COLECTOR DE AGUA LLUVIAS	3
COLECTOR DE AGUA LLUVIAS	8
MUROS	1
TOTAL	12



Según los resultados obtenidos se observa un factor común denominador en todas las Cárcavas, que es la presencia de colectores de aguas lluvias dañados, en el 92% se presenta el colapso parcial o total de las descargas de dicho sistema, además se observa que existen otros tipos de estructuras dañadas como lo son muros y obras de protección.

- **Sub-cuenca a la que pertenece cada Cárcava, en este apartado se han identificado las diferentes sub-cuencas donde se localiza cada Cárcava.**

SUBCUENCA	CANTIDAD
RÍO LAS CAÑAS	2
RÍO CHAGÜITE	1
RÍO LA JUTERA	3
QUEBRADA EL CARACOL	2
QUEBRADA LAS PAVAS	1
QUEBRADA EL ARENAL	1
QUEBRADA ARENAL SAN BARTOLO	2
TOTAL	12



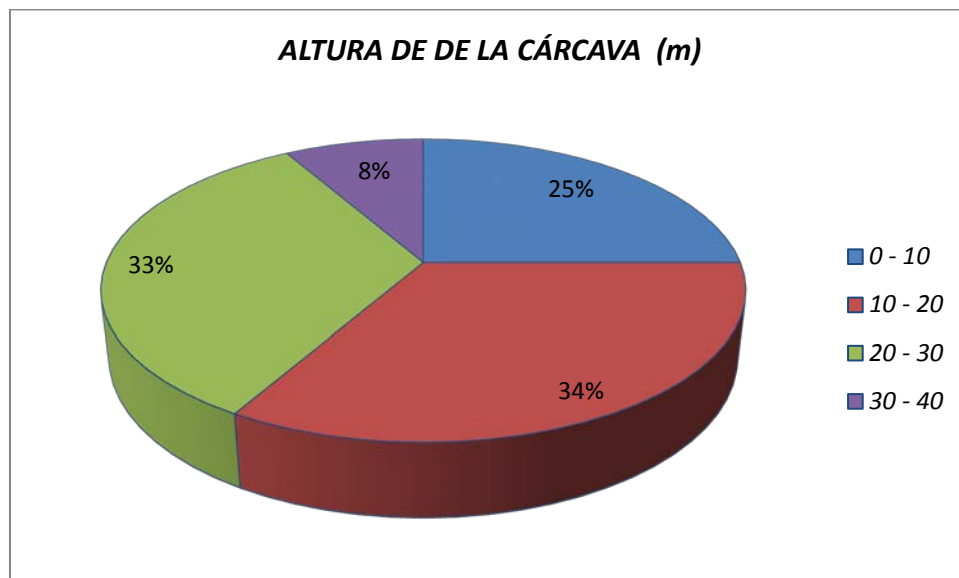
El 17% de las Cárcavas pertenece a la cuenca del río Las Cañas, un 8% al río Chagüite y 25% al río La Jutera. El 50% de las Cárcavas se encuentran en las cercanías de quebradas conocidas como quebradas de invierno, ya que su caudal se ve incrementado en la época lluviosa, siendo el 8% que pertenecen a la quebrada Las Pavas, un 17% a una quebrada El Caracol, un 8% quebrada El Arenal y 17% a la quebrada Arenal de San Bartolo.

Se observa que las 12 Cárcavas se encuentran en zonas aledañas a ríos y quebradas, esto se debe a que se han formado en descargas de aguas lluvias y/o aguas negras. La presencia de los cuerpos hídricos tiene su influencia en la formación de Cárcavas, ya que estos controlan el transporte de suelo en su lecho, lo que puede desestabilizar las laderas y/o taludes de su cuenca generando un continuo arrastre de partículas de suelo o sedimento que permite que la erosión en Cárcava avance aguas arriba de las laderas.

Además sirve para considerar las medidas necesarias en el diseño de las obras de mitigación y evitar que los ríos o quebradas perjudiquen las obras durante la ocurrencia de eventos hidrológicos de gran intensidad.

- **Altura del Talud**, se refiere a la diferencia de nivel que existe desde la corona al pie del talud donde se localiza la Cárcava, se pudo identificar profundidades promedio de 30 m en Cárcavas formadas en los márgenes de los ríos y quebradas.

ALTURA DE LA CÁRCAVA (m)	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
0 - 10	3
10 - 20	4
20 - 30	4
30 - 40	1
TOTAL	12

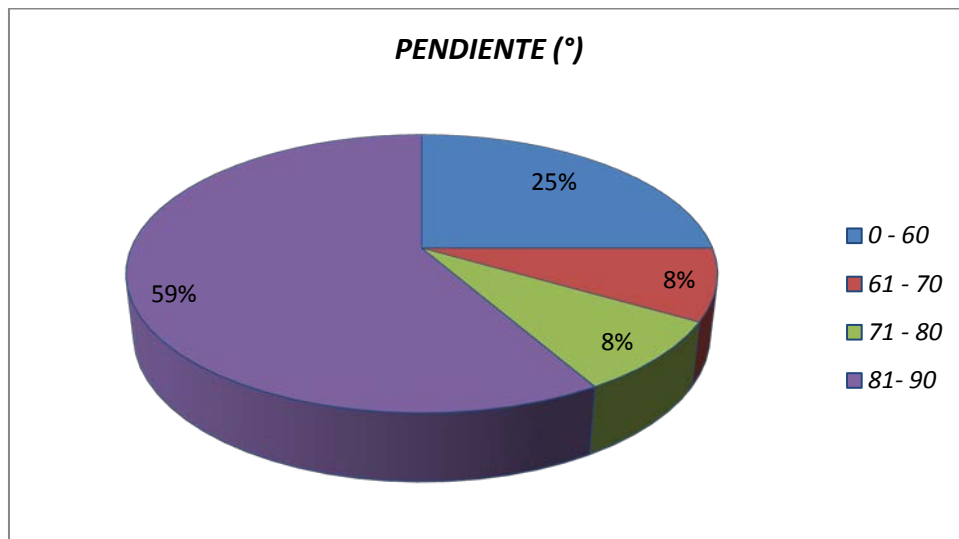


El 33% de las Cárcavas visitadas cuentan con alturas de taludes entre 20 m y 30 m, donde se observan estratos uniformes del mismo material con el que está constituida

la zona en análisis. Muchos de estos taludes con el paso del tiempo se han ido profundizando debido al proceso de erosión en su pie, especialmente los que se encuentran en los márgenes de ríos o quebradas y se ven expuestos a los flujos hídricos que estos transportan.

- **Pendiente**, representa la inclinación de la superficie de la Cárcava, este valor fue obtenido por medio de las observaciones en el sitio tomando como base el plano horizontal.

PENDIENTE (°)	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
0 - 60	3
61 - 70	1
71 - 80	1
81 - 90	7
TOTAL	12



Se observa que el 59% de las Cárcavas visitadas tienen una inclinación de 80° a 90°, constituyendo taludes casi verticales, estos suelos presentan características geotécnicas competentes y son capaces de mantener taludes casi verticales a grandes

alturas, viéndose muy afectadas al tener contacto con fuerzas hídricas que saturan los materiales, lo que hace desaparecer la cementación existente entre ellas.

- **Volumen de Pérdida Anual del Suelo**, En base a las dimensiones de cada Cárcava, las cuales se establecieron de acuerdo a la topografía encontrada en campo, tomando como guía la morfología de las laderas laterales de cada Cárcava y la fecha en que se originó el problema, se ha estimado el volumen de pérdida de suelo por año debido al avance del proceso erosivo. Considerando una cuña de material cuyo volumen de pérdida de suelo es igual a:

$$P_{suelo} = \frac{\text{alto} \cdot \text{ancho} \cdot \text{largo}}{2}$$

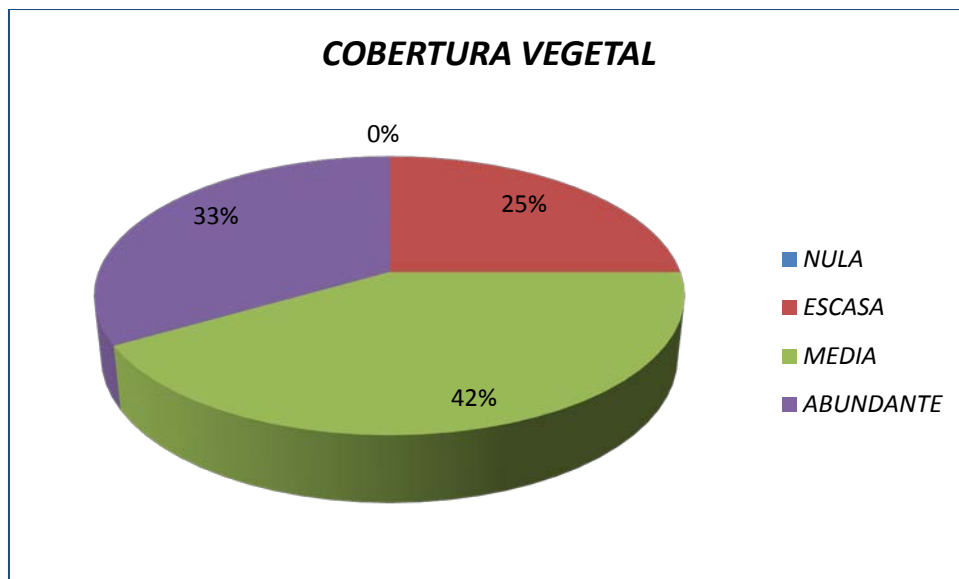
N°	CÁRCAVA	ALTURA (m)	ANCHO (m)	LARGO (m)	PÉRDIDA DE SUELO (m³)	PÉRDIDA DE SUELO ANUAL (m³)
1	Reparto Las Cañas	30	35	65	34,125	4,875
2	Comunidad Vista al Lago, Santa Lucía	20	30	10	3,000	429
3	Colonia Llano Verde	40	35	100	70,000	10,000
4	Urbanización La Cima 1, San Bartolo	15	35	55	14,438	2,063
5	Reparto Jardines de San Bartolo	30	35	30	15,750	606
6	Lotificación San Gerardo	4	8	5	80	11
7	Entre las colonias Linda Vista y Modelo (3 de mayo)	20	5	40	2,000	286
8	Urbanización San Bartolo del Norte I	25	20	10	2,500	179
9	Colonia Santa Rosa	20	15	40	6,000	857
10	Comunidad Tasturbas y Residencial Altavista	3	5	4	30	10
11	San Bartolo del Norte 3	25	15	10	1,875	268
12	San Francisco de Asís	8	15	20	1,200	46

Se observa una variación de pérdida de suelo del orden de 10 m³ hasta 10,000 m³ por año, presentando las mismas características geológicas en la zona, sin embargo existen lugares con materiales más consolidados que presentan más resistencia a ser erosionados. Además influyen otros factores que determinan el avance de la erosión

entre los que se puede mencionar la altura de los taludes y el caudal de escorrentía que drena en la zona afectada.

- **Cobertura Vegetal**, se verificó en campo la densidad de vegetación existente en el área afectada por la formación de cada Cárcava, donde se tomó la vegetación sobre la corona y áreas alrededor de los taludes para determinar el avance de la Cárcava, conociendo de antemano que la cobertura sobre el cuerpo de ésta es casi nula por la erosión, específicamente por el proceso de exfoliación.

COBERTURA VEGETAL	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
NULA	0
ESCASA	3
MEDIA	5
ABUNDANTE	4
TOTAL	12



Se puede observar que el 25% de las Cárcavas cuentan con escasa vegetación lo que representa la condición más desfavorable, ya que el proceso erosivo ha continuado su

avance por la falta de protección que la cobertura vegetal ofrece a la superficie del suelo, convirtiéndose mucho más vulnerable ha dicho efecto.

- **Uso de Suelos**, durante las visitas técnicas se identificó el uso de suelo de las áreas de influencia en la zona donde se localiza cada Cárcava, clasificándolas en área urbana y área semi-urbana.

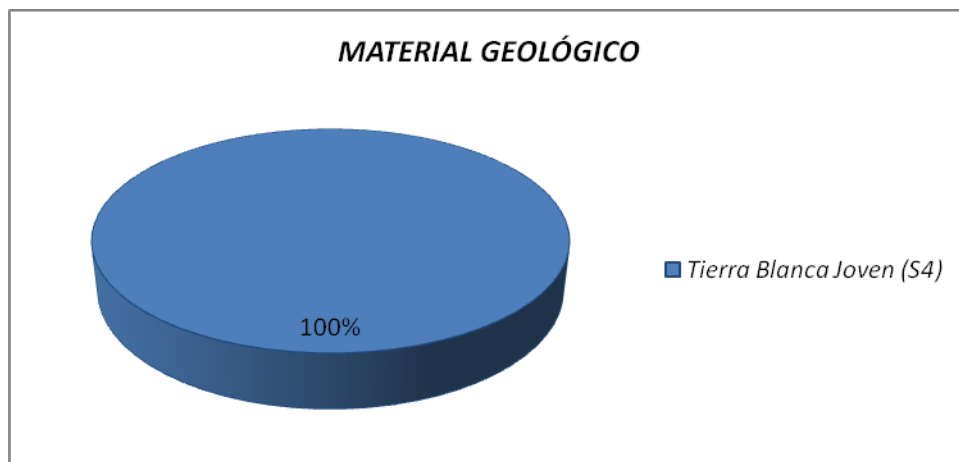
USO DE SUELOS	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
SEMI-URBANO	4
URBANO	8
TOTAL	12



Según los resultados obtenidos el 67% de las Cárcavas cuentan con áreas de influencia urbana, indicando que en su mayoría las Cárcavas se encuentran en zonas altamente urbanizadas, incrementando los caudales de escorrentía superficial y agudizando el problema en zonas vulnerables a procesos erosivos, pues no cuentan con las obras de drenaje necesarias para conducir los caudales producidos.

- **Geología de la Zona:** Se identificaron los diferentes materiales geológicos y los estratos que conforman los taludes donde se localizan las Cárcavas.

MATERIAL GEOLÓGICO	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
Tierra Blanca Joven (S4)	12
TOTAL	12

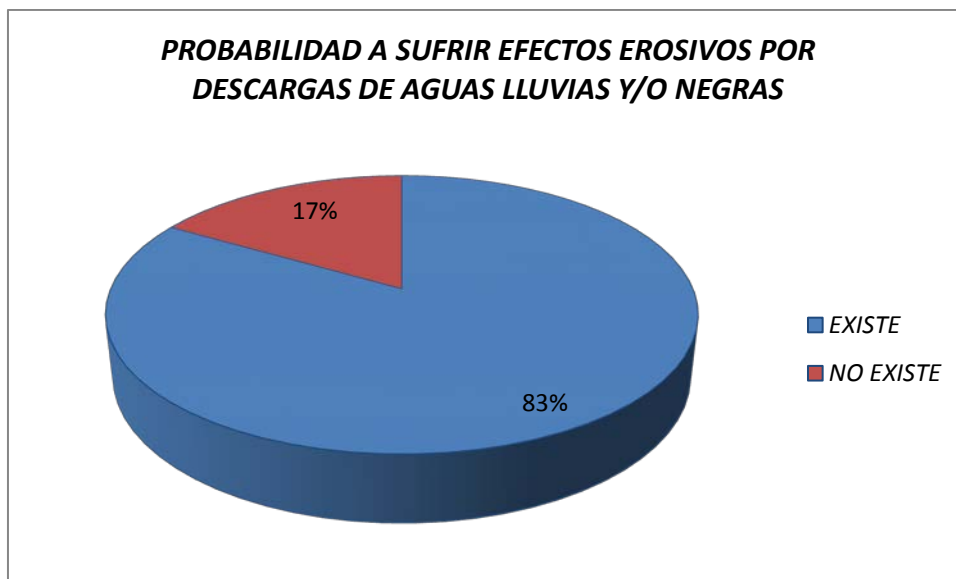


Se observó durante las visitas la uniformidad de material geológico en la zona de estudio, ya que en los taludes encontrados se localizan estratos cartografiados como S4, (Tierra Blanca Joven o TBJ) específicamente materiales clasificados como Arenas Limosas (en algunos casos muy consolidadas) y Limos Arenosos, además se observó la abundante presencia de intercalaciones de Pómez.

Otro material que se apreció en el pie de los taludes durante las observaciones realizadas en campo corresponde a arenas aluviales y cantos rodados, debido a la presencia de flujos hídricos cerca de los taludes donde se encuentran las Cárcavas, también se encontraron materiales saturados en algunas zonas así como materiales contaminados con ripio y basura.

- **Probabilidad a sufrir efectos erosivos por descargas de aguas lluvias y/o negras sobre los taludes**, durante las visitas realizadas a las Cárcavas se observó la susceptibilidad que presentan los taludes a seguir el proceso erosivo, debido la descarga continua de colectores de aguas lluvias y/o aguas negras, y/o a que la corona de la Cárcava se encuentra en un ángulo en el que la escorrentía superficial está descargando a los taludes de la Cárcava, cambiando las características físicas del suelo por el contacto del agua.

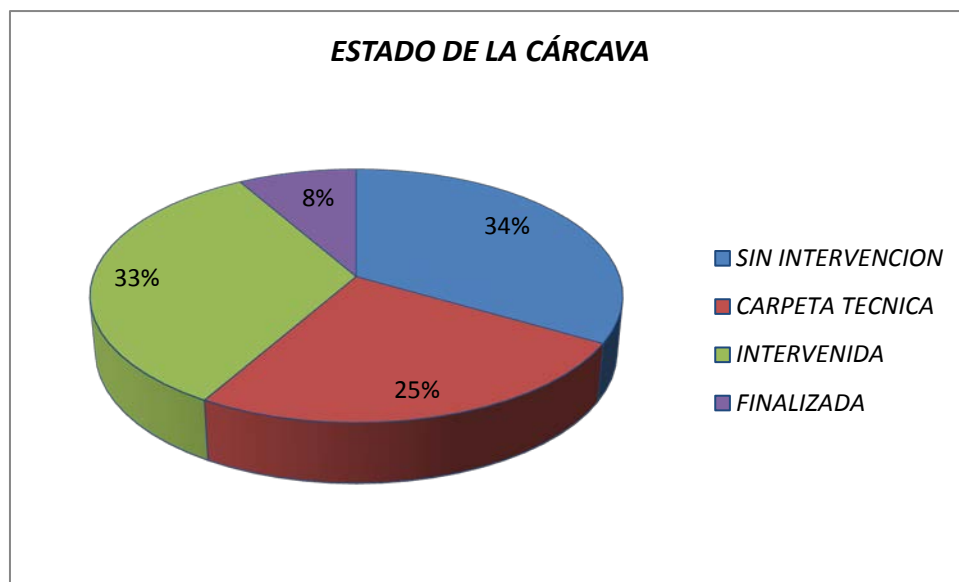
PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O NEGRAS	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
EXISTE	10
NO EXISTE	2
TOTAL	12



Según los resultados obtenidos el 83% de las Cárcavas presentan probabilidad a seguir sufriendo el proceso de erosión, debido a las condiciones de la escorrentía superficial.

- **Estado de las Cárcavas**, en este apartado se identificó el proceso de intervención que tenía cada una de las Cárcavas al momento en que se realizó la visita técnica; se observaron Cárcavas que ya habían tenido algún tipo de intervención para remediar el proceso erosivo, así como también Cárcavas sin ningún tipo de intervención.

ESTADO DE LA CÁRCAVA	CANTIDAD (CÁRCAVAS)
SIN INTERVENCIÓN	4
CARPETA TÉCNICA	3
INTERVENIDA	4
FINALIZADA	1
TOTAL	12



Según los resultados obtenidos es evidente que la mayoría de las Cárcavas no poseen ningún tipo de obra de remediación que contrarreste el proceso erosivo, sin embargo, cabe mencionar que debido a la falta de financiamiento y de fondos destinados para obras de protección por parte de las instituciones públicas y privadas (Esto debido a

que el problema de Cárcavas es relativamente reciente), no se cuenta aún con un programa de mitigación, mantenimiento y prevención de desastres.

4.4 EVALUACIÓN DE LAS CÁRCAVAS

En base a la información recolectada en campo se realiza una clasificación de las características prevaletientes de las Cárcavas, a las cuales en función de su importancia se le asigna una ponderación, con la que posteriormente se evalúa cada una de ellas en las diferentes categorías, para priorizar y determinar qué fenómenos erosivos requieren intervención inmediata, a corto o mediano plazo, de acuerdo al puntaje obtenido en la evaluación.

- ***Definir las características que serán evaluadas:***

Para nuestro análisis en base a la información recabada en campo se han destacado 9 categorías a evaluar, dentro de estas categorías se ha realizado una subdivisión considerando los diferentes casos que podrían presentarse para cada una de ellas, tal como se detalla en la Tabla N°4.3.

- ***Asignación de pesos para cada categoría:***

En base de la importancia de cada característica se ha asignado un peso de 1.00 (Ver Tabla N°4.3), donde los pesos máximos representan las características más críticas y desfavorables para la evaluación, y van disminuyendo en una escala lineal hasta alcanzar valores mínimos para las condiciones favorables, la sumatoria de los pesos de cada una de las categorías más desfavorables da un total de 9 puntos.

N°	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	PESO
1	POBLACIÓN AFECTADA (Personas)	> 600	1
		400 - 600	0.75
		200 - 400	0.5
		0 - 200	0.25
2	DISTANCIA DE CÁRCAVAS A CASAS (m)	0	1
		0 - 25	0.75
		25 - 50	0.5
3	OBRA DE DESCARGA	NO EXISTE	1
		DAÑADA	0.5
		EN BUEN ESTADO	0
4	CUERPO HÍDRICO	INFLUENCIA DIRECTA	1
		INFLUENCIA INDIRECTA	0.5
5	ALTURA DE LA CÁRCAVA (m)	30 - 40	1
		20 - 30	0.75
		10 - 20	0.5
		0 - 10	0.25
6	INCLINACIÓN DEL TALUD (°)	80 - 90	1
		70 - 80	0.75
		60 - 70	0.5
		0 - 60	0.25
7	COBERTURA VEGETAL	NULA	1
		ESCASA	0.75
		MEDIA	0.5
		ABUNDANTE	0
8	MATERIAL GEOLÓGICO	ALTAMENTE EROSIONABLE	1
		MEDIA	0.5
		BAJA	0
9	DESCARGA	EXISTE	1
		NO EXISTE	0
		EVALUACIÓN	

TABLA N°4.3: Categorías para la evaluación de las Cárcavas.

- **Evaluación de cada Cárcava:**

Posteriormente se realizó la evaluación de cada Cárcava, para determinar la calificación que le corresponde en función de las características identificadas en campo, obteniendo los siguientes resultados (Ver Tabla N°4.4).

- ***Clasificación de los Puntajes Obtenidos:***

Los resultados obtenidos en la evaluación se clasificarán de acuerdo a los rangos siguientes:

- **9 – 7 Puntos:** requieren intervención inmediata, es decir se deben tomar medidas de solución con prontitud ya que problema se encuentra en un estado avanzado y crítico, representando una alta amenaza a pobladores e infraestructuras.
- **7 – 5 Puntos:** requieren intervención a corto plazo, se tiene tiempo limitado para tomar medidas de solución, el problema se encuentra avanzado y representa amenaza a pobladores e infraestructuras.
- **5 – 2.5 Puntos:** necesitan intervención a mediano plazo, estos sitios representan poco avance erosivo, por lo que se deben de verificar posteriormente para identificar si éstas requieren otro tipo de intervención, pudiendo afectar a pobladores e infraestructuras.

CONSIDERACIONES EN LA EVALUACIÓN:

Los doce sitios con problemas de Cárcavas se tomaron para realizar la evaluación. Además en las Cárcavas del Reparto Las Cañas y Urbanización La Cima 1 se tomaron las condiciones que presentaban antes de la intervención realizada en cada una de ellas, esto con fines académicos para aplicar la metodología de evaluación presentada, pues lo que se pretende con esta evaluación es determinar qué Cárcavas necesitan intervención inmediata, a corto o mediano plazo, es decir, establecer prioridades.

N°	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	PESO	1. LAS CAÑAS	2. VISTA AL LAGO	3. LLANO VERDE	4. URB. LA CIMA I	5. JARDINES DE SAN BARTOLO	6. SAN GERARDO	7. LINDA VISTA	8. SAN BARTOLO DEL NORTE 1	9. SANTA ROSA	10. TASTURBAS	11. SAN BARTOLO DEL NORTE 3	12. SAN FRANCISCO DE ASÍS	
1	POBLACIÓN AFECTADA (Personas)	> 600	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
		400 – 600	0.75	0	0	0.75	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		200 – 400	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
		0 – 200	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25
2	DISTANCIA DE CÁRCAVA A INFRAESTRUCTURA (m)	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	
		0 – 25	0.75	0	0	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0	0	0.75	0	0.75
		25 – 50	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0
3	OBRA DE DESCARGA	NO EXISTE	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	
		DAÑADA	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.5	0	0
		EN BUEN ESTADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	CUERPO HÍDRICO	INFLUENCIA DIRECTA	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	
		INFLUENCIA INDIRECTA	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0
5	ALTURA DE LA CÁRCAVA (m)	30 – 40	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		20 - 30	0.75	0.75	0	0	0	0.75	0	0	0	0.75	0.75	0	0.75	0
		10 – 20	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
		0 – 10	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0.25
6	INCLINACIÓN DEL TALUD (°)	80 – 90	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	
		70 – 80	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	
		60 – 70	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
		0 – 60	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0
7	COBERTURA VEGETAL	NULA	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
		ESCASA	0.75	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.75	0	0	0
		MEDIA	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0.5
		ABUNDANTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	MATERIAL GEOLÓGICO	ALTAMENTE EROSIONABLE	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
		MEDIA	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
		BAJA	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	DESCARGA	EXISTE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		NO EXISTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EVALUACIÓN				8.75	6.25	8.25	8.25	7.75	5.50	6.25	5.75	7.25	5.75	7	6.75	

INTERVENCIÓN INMEDIATA **DE 7 A 9 PUNTOS**
INTERVENCIÓN A CORTO PLAZO **DE MENOS DE 7 A 5 PUNTOS**
INTERVENCIÓN A MEDIANO PLAZO **DE MENOS DE 5 A 2.5 PUNTOS**

TABLA 4.4: Resultados Obtenidos en la Evaluación para la Priorización de las Cárcavas.

4.4.1 PRIORIZACIÓN DE CÁRCAVAS A REMEDIAR

Se determinaron rangos para establecer la priorización de las Cárcavas a ser intervenidas, desde el mayor puntaje, el cual es el más desfavorable (9 puntos), hasta el menor el cual es el menos desfavorable (2.5 puntos). Se estableció que las Cárcavas que obtuvieran de 9 a 7 puntos requerirán intervención inmediata, las que se encuentran de menos de 7 hasta 5 requerirán intervención a corto plazo y las Cárcavas que obtuvieran de menos de 5 hasta 2.5 necesitan intervención a mediano plazo.

Como se puede observar en los resultados obtenidos en la evaluación realizada a las Cárcavas, de ellas las que requieren intervención inmediata son las Cárcavas siguientes: Las Cañas, Llano Verde, Urb. La Cima 1, Jardines de San Bartolo, Santa Rosa y San Bartolo del Norte 3, son 6 (seis) en total, de estas las primeras cuatro Cárcavas ya fueron intervenidas por el Ministerio de Obras Públicas, lo que concuerda con las Cárcavas más prioritarias.

Las Cárcavas que requieren intervención a corto plazo son: San Francisco de Asís, Vista al Lago, Linda Vista, Tasturbas, San Bartolo del Norte 1 y San Gerardo, son 6 (seis) en total.

No se obtuvo en la evaluación Cárcavas que requirieran intervención a mediano plazo.

La metodología empleada en la evaluación de las Cárcavas permite definir un procedimiento cuyo objetivo es determinar a través de un método cuantitativo la magnitud de la problemática, y así poder tomar decisiones más acertadas para atacar el avance del proceso erosivo.

Esta metodología es una herramienta que nos permite a través de una evaluación priorizar los problemas que se encuentran en las condiciones más desfavorables y representan más riesgo para la población.

En base a los resultados se puede establecer el orden del seguimiento que se le debe dar a cada problema y así determinar qué solución puede implementarse para contrarrestar el proceso erosivo en la Cárcava.

CAPÍTULO V

ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES TÉCNICAS A CÁRCAVAS

5.1 INTRODUCCIÓN

Cuando el fenómeno erosivo en Cárcavas es de baja magnitud o cuando se diagnostica de manera temprana pueden ser empleadas en su control medidas de solución que no demandan grandes esfuerzos económicos, donde pueden implementarse prácticas menores, que integren sencillas técnicas de intervención del terreno, atendiendo adecuadamente los agentes erosivos y los parámetros que imparten resistencia al mismo frente a la erosión. En otros casos, el fenómeno erosivo puede ser de gran magnitud o encontrarse en un estado de desarrollo tal, que sea necesario proyectar obras de mayor extensión; es éste el caso de áreas muy afectadas por procesos de carcavamiento, donde no será suficiente la incorporación de material vegetal, sino que además deberán implementarse técnicas para atacar el proceso erosivo y avance de la Cárcava.

Para definir las soluciones que se pueden implementar, es necesario realizar una serie de actividades para determinar las características topográficas, geotécnicas, geológicas, hidrológicas e hidráulicas con las cuales se definirán las condiciones en las que se encuentra la Cárcava. En el presente Capítulo se determinarán tres alternativas de solución que se pueden implementar al problema de carcavamiento, utilizando una Cárcava tipo caracterizada con las particularidades que presenta el problema de erosión en Cárcavas en la zona en estudio. Las propuestas de soluciones planteadas comprenden diseños conceptuales, limitándose a profundizar en detalles constructivos, con los que se deben contar al momento de ejecutar las obras de solución. Dicha Cárcava tipo se encuentra en un estado crítico y avanzado, donde será necesario considerar las diferentes características que presenta la zona afectada, para definir la influencia que estos han tenido en la formación del proceso erosivo y las medidas que se deben tomar para contrarrestarlo.

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CÁRCAVA

Para nuestro análisis se utilizará una Cárcava tipo, característica de la zona de Ilopango, por lo que se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones¹⁷:

- La descarga de aguas lluvias presentó daños fácilmente remediables durante un evento sísmico y no se le realizaron las obras para restaurar la estructura.
- La Cárcava se originó por el colapso de la obra de descarga del colector de aguas lluvias de la urbanización, (la cual presentaba daños) por una intensa tormenta tropical ocurrida hace aproximadamente 6 años, la problemática se fue agudizando por los eventos climatológicos acontecidos en los siguientes años.
- La Cárcava se encuentra ubicada al final de la calle principal de la urbanización adyacente (en la descarga).
- La Cárcava está constituida geológicamente por estratos cartografiados como S4, (Tierra Blanca Joven o TBJ) caracterizados de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como Arenas Limosas (SM), con cierto grado de consolidación.
- La Cárcava se localiza en la margen de una quebrada, donde descarga el colector de aguas lluvias.
- La vegetación de la zona afectada (Cárcava) es prácticamente nula, pues el proceso erosivo se encuentra tan avanzado que ha destruido toda la protección superficial del suelo.
- La Cárcava se puede clasificar según sus características como Cárcava alargada con escarpe vertical superior; inicialmente la Cárcava se profundiza hasta lograr una pendiente de equilibrio por razones geológicas o propias del proceso erosivo y

¹⁷ Las particularidades que presenta la Cárcava, corresponden a las características más recurrentes en las Cárcavas visitadas de la zona en estudio.

luego inicia un proceso de avance lateral y hacia arriba, mediante la ocurrencia de deslizamientos.

5.3 ESTUDIOS BÁSICOS PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES PRESENTES EN LA CÁRCAVA.

Para el diseño de las obras que se pueden proyectar para solucionar el problema de las Cárcavas, es necesario realizar una serie de estudios básicos en función de los alcances y objetivos que se tengan con el proyecto, para determinar las condiciones en que se encuentra el fenómeno, sin limitarse a los que se describen a continuación:

5.3.1 ANTECEDENTE Y DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA AFECTADA:

Este análisis tiene como fin investigar las causas que dieron origen a la Cárcava e identificar tanto la infraestructura afectada por el proceso erosivo, como también la que se verá afectada por las obras a construir que han sido diseñadas para atacar dicho proceso.

Para cumplir con lo expuesto anteriormente es necesario realizar las siguientes actividades:

- Investigar las causas que dieron origen al problema.
- Realizar visitas de campo al sitio en estudio para constatar qué infraestructura se verá afectada ya sea en la zona erosionada como en las áreas aledañas.
- Investigar en las instituciones correspondientes acerca de los servicios públicos que puedan verse afectados por las obras proyectadas y aquellos que ya se vieron afectados por el avance de la Cárcava.
- Análisis de las condiciones en las que se encuentran las diferentes obras aledañas al proceso erosivo.

5.3.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Se debe realizar un levantamiento topográfico para definir las características planimétricas y altimétricas que posee la Cárcava, este levantamiento se debe prolongar hasta donde sean necesarios sus correspondientes detalles (infraestructuras cercanas), para contar con la información topográfica para el diseño de las obras. Toda la información que se obtiene en campo, posteriormente es procesada para generar los dibujos topográficos del proyecto.

5.3.3 ESTUDIO DE SUELOS

Es necesario determinar las características mecánicas que presentan los materiales geológicos de la zona de la Cárcava, para esto se debe realizar una campaña geotécnica, con el objetivo de conocer las propiedades mecánicas y físicas de los suelos que constituyen la zona de estudio. Para lo cual será necesario realizar diferentes actividades, entre las que podemos mencionar:

- **Visitas de Inspección**, a la zona para determinar los sitios de donde se obtendrán las muestras y se realizarán los ensayos IN-SITU.
- **Trabajo de Campo**, se debe extraer las muestras que sean necesarias, estas pueden ser alteradas e inalteradas tal como lo requieran los ensayos que posteriormente se le realizarán en laboratorio.
- **Trabajo de Laboratorio**, a las muestras extraídas se les deben realizar diferentes ensayos de laboratorio que nos permitan caracterizar los materiales existentes.¹⁸ Al menos las características mecánicas que se deben determinar son: Ángulo de Fricción Interna (ϕ), Cohesión (C), Peso Volumétrico (γ_m), Altura de los Estratos y

¹⁸ Si el diseño lo requiere se deben realizar otras pruebas de laboratorio para determinar los parámetros que se necesiten.

Capacidad de Carga a nivel de cimentaciones. Además se debe determinar la influencia del nivel freático en el suelo.

5.3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Tiene como propósito conocer los caudales máximos que genera la cuenca para los períodos de retorno requeridos, los cuales nos permitirán proponer y dimensionar las obras de protección y drenaje necesarias para contrarrestar el proceso de erosión en la Cárcava.

- **Trabajo de Campo:**

- Visitas técnicas a diferentes zonas de la cuenca para definir los límites de la misma.
- Identificar los diferentes usos de suelos.

- **Trabajo de Oficina:**

- Delimitación de línea divisoria de aguas o parteaguas de la cuenca en los cuadrantes topográficos.
- Determinación de los diferentes tipos de usos del suelo de la cuenca.
- Dibujo de la cuenca hidrográfica.
- Obtención de las principales características de la cuenca.
- Cálculo del tiempo de concentración.
- Determinación del coeficiente de escorrentía de acuerdo al tipo de uso del suelo.
- Análisis de las intensidades de lluvia.
- Cálculo de caudales máximos.

5.3.5 ANÁLISIS HIDRÁULICO

Tiene por finalidad la determinación del comportamiento hidráulico de las obras o cauce que deban de analizarse en las propuestas de solución.

Para cumplir con este objetivo se deben de realizar las siguientes actividades:

- Verificar el sitio de emplazamiento de las obras y las secciones hidráulicas.
- Identificar los diferentes parámetros hidráulicos de las obras o del cauce en análisis.
- Verificar los niveles de máxima creciente, y relacionar si las obras poseen capacidad hidráulica o si la cota de la superficie libre del flujo afecta las obras a proyectar en el caso de los cauces de ríos o quebradas.

Además de los estudios mencionados anteriormente, se deben tomar en cuenta las medidas para la compensación de las afectaciones provocadas por la Cárcava y por las obras de mitigación a construir.

- Tener un plan de reubicación de la población que será necesario trasladar cuando las obras de mitigación a construir lo requieran.
- Identificar las medidas ambientales que se tomarán para solventar las afectaciones del proyecto, ya sean provisionales o de carácter permanente.

5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CÁRCAVA

5.4.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

El estudio o levantamiento topográfico tiene como fin la obtención de datos acerca del relieve del terreno, los cuales servirán para generar mapas o planos de la Cárcava, tanto en coordenadas planas como en elevación.

De esta manera se podrán plantear soluciones adecuadas y apegadas a las condiciones reales del terreno, asimismo para las estimaciones de la cantidad de suelo a remover si

fuera el caso. En la Figura N°5.1 se presenta la planta topográfica de la Cárcava, donde se puede observar una topografía accidentada y con fuertes pendientes.

La Cárcava se encuentra a una elevación de 600 msnm (Corona), altura promedio del Municipio de Ilopango.¹⁹

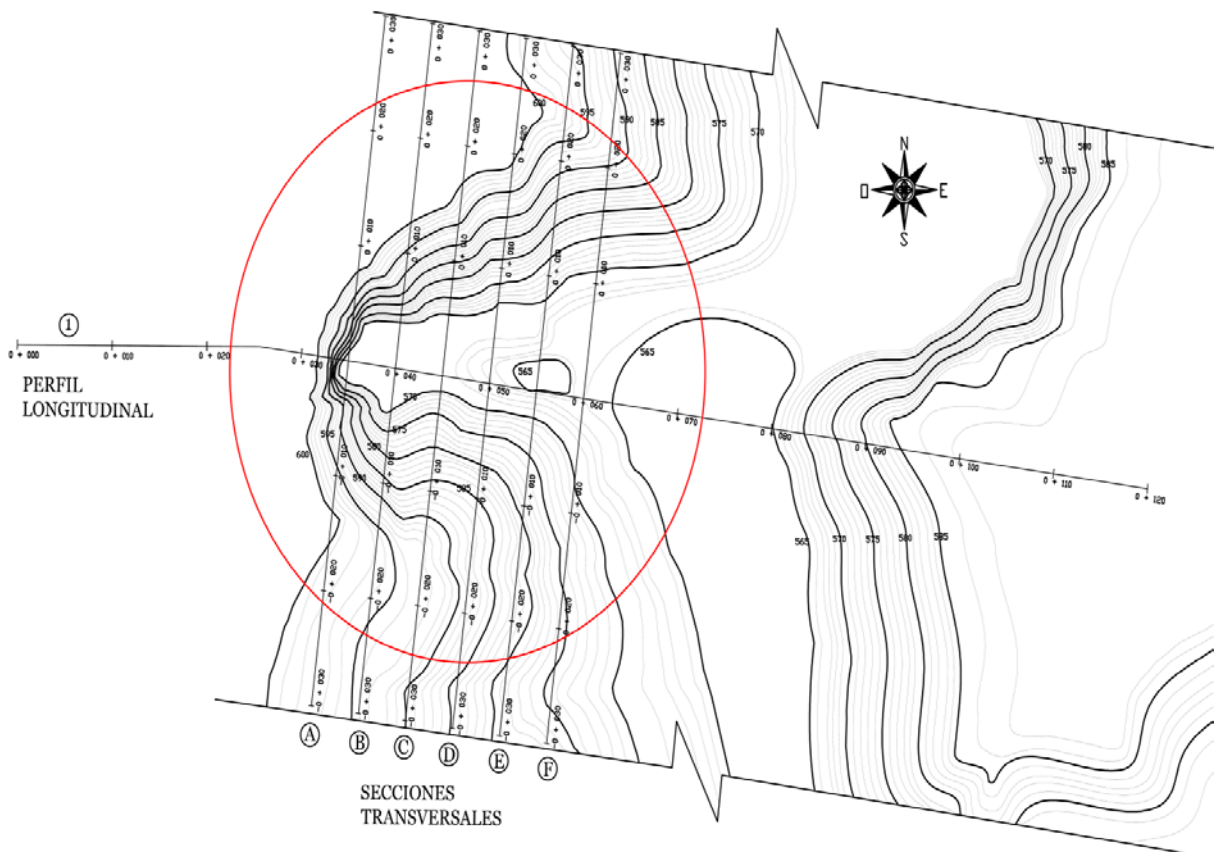


FIGURA N°5.1: Planta Topográfica de la Cárcava, sin escala.

¹⁹ Las Cárcavas estudiadas tienen elevación que se encuentran en un rango de (485msnm - 635msnm), tomando como base para este análisis la cota de 600 msnm.

Al lado poniente de la planta topográfica (Ver Figura N°5.1, círculo rojo), se puede apreciar el avance que ha tenido el proceso erosivo en el escarpe y a los lados de la Cárcava, generando la pérdida del suelo que se encontraba en este sitio.

La Figura N°5.2 presenta la morfología del perfil longitudinal de la Cárcava, donde se puede observar un desnivel aproximadamente de 30 m desde la corona al pie de la Cárcava, con una inclinación de 85° desde la horizontal.²⁰



FIGURA N°5.2: Perfil longitudinal de la Cárcava, corresponde al perfil 1 de la planta topográfica (Figura N°5.1), sin escala.

En las Figuras N°5.3a, N°5.3b y N°5.3c, se presentan las secciones transversales del perfil longitudinal de la Cárcava (secciones A, B, C, D, E y F), en las cuales se pueden observar las grandes alturas y pendientes que tienen los taludes transversales de la Cárcava.

²⁰ La altura de 30 metros es representativa de las alturas correspondientes a las Cárcavas en la zona de estudio.

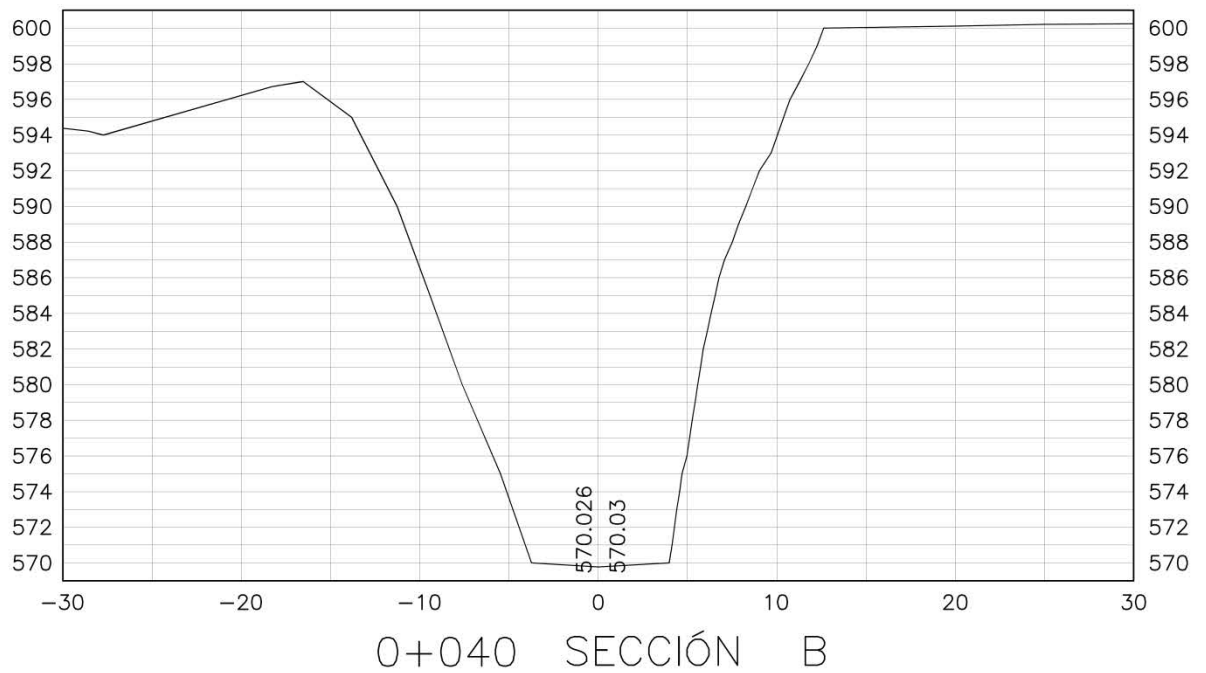
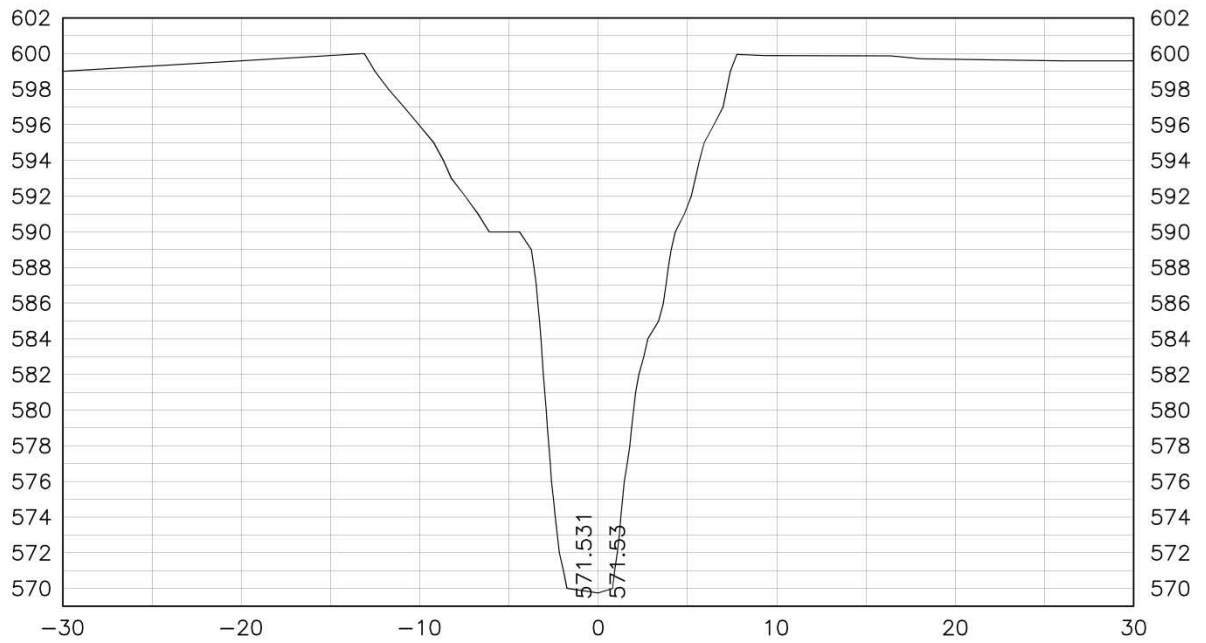


FIGURA N°5.3a: Secciones Transversales de la Cárcava las cuales corresponden a la sección A y B de la planta topográfica (figura N°5.1), sin escala.

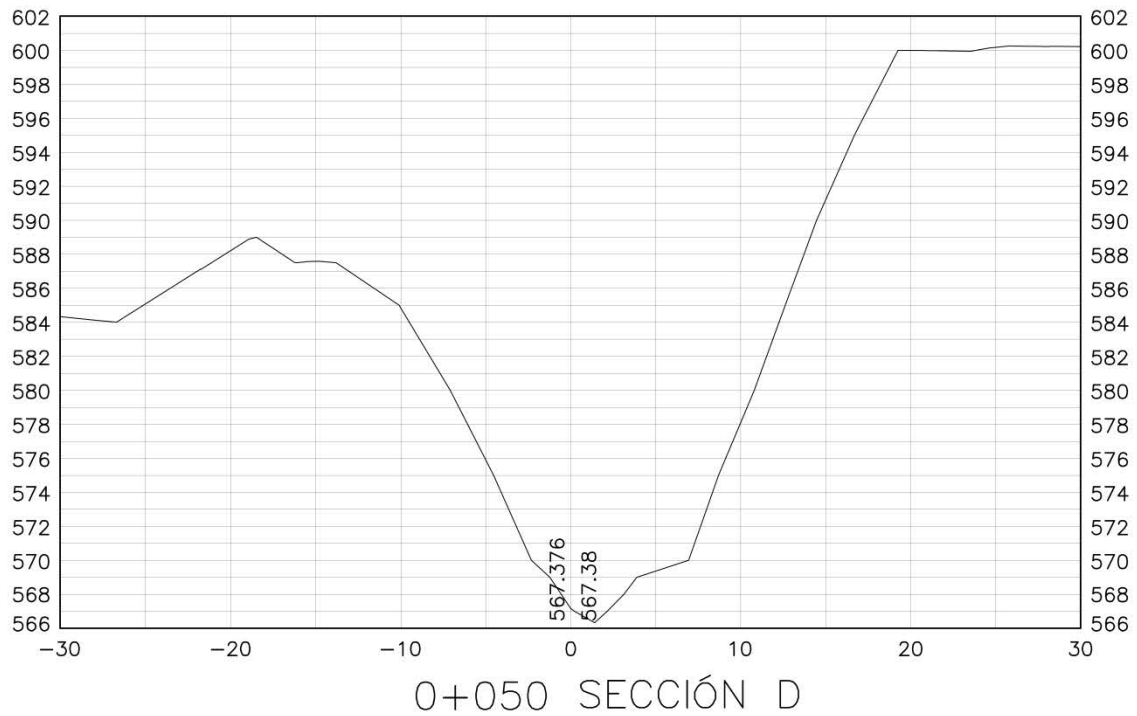
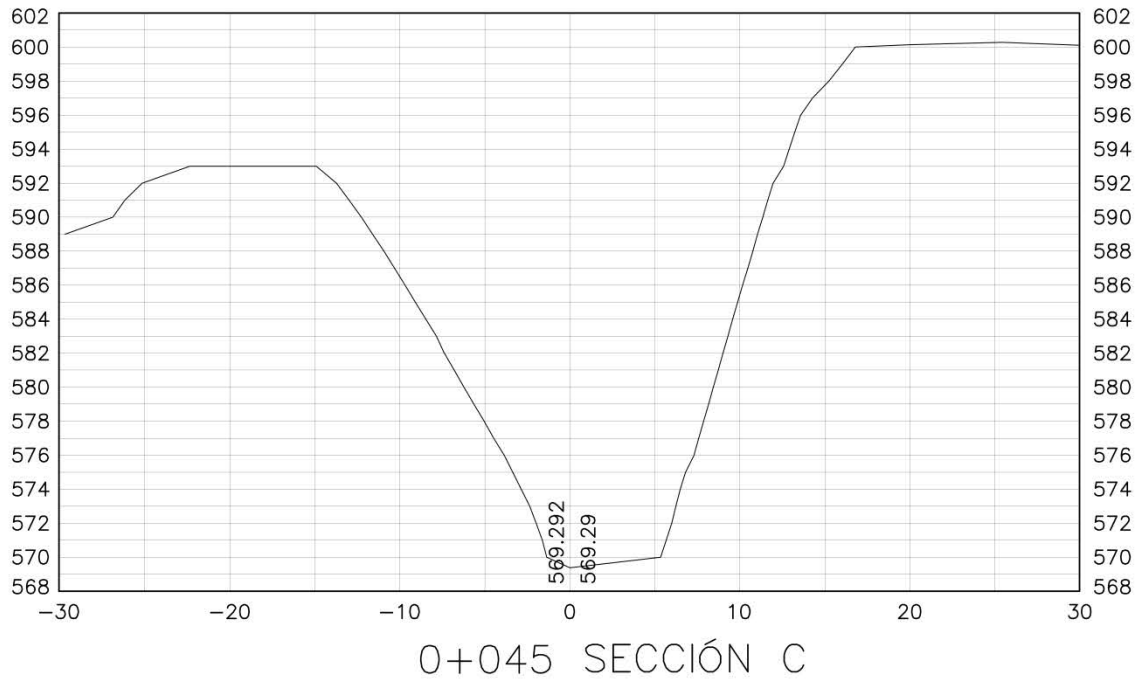
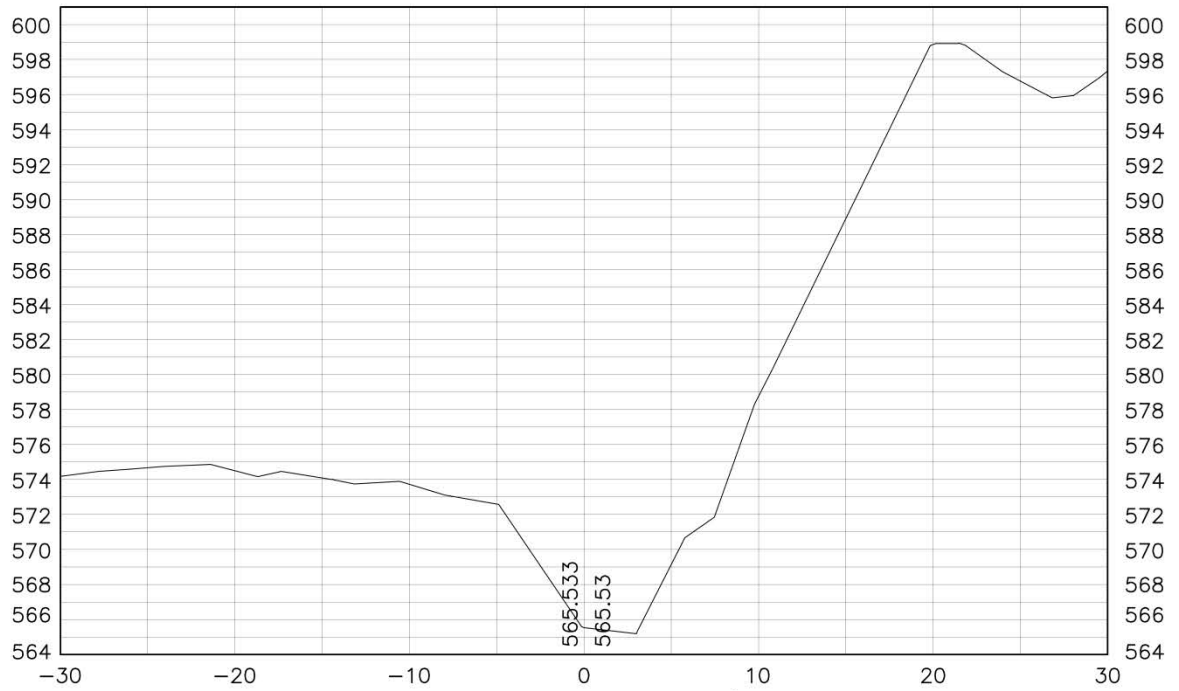
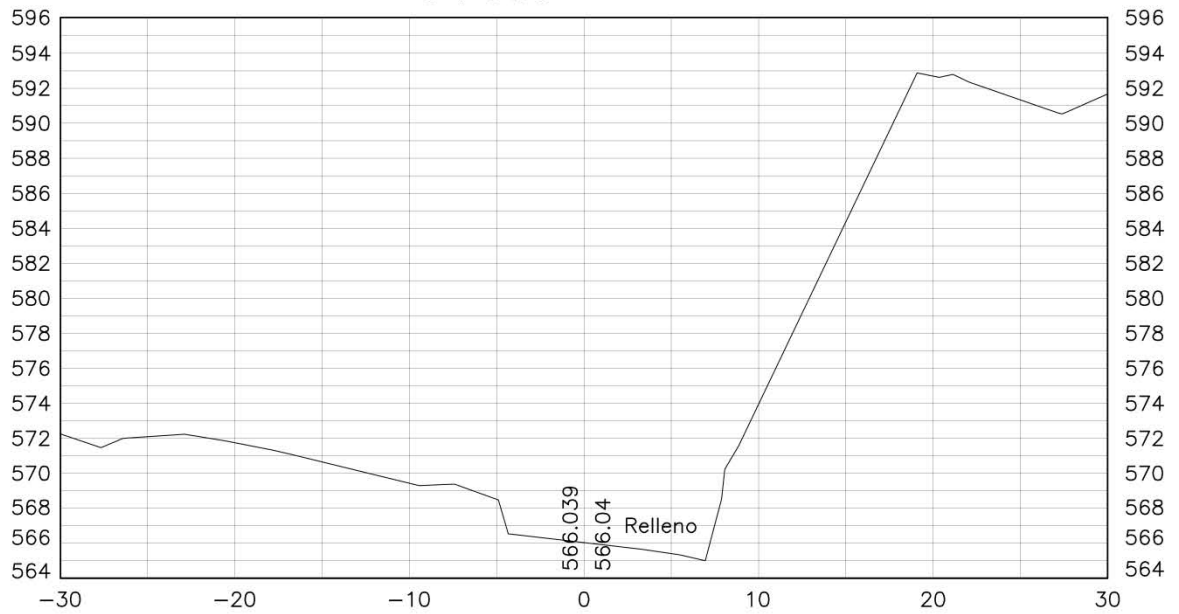


FIGURA N°5.3b: Secciones Transversales de la Cárcava, las cuales corresponden a la sección C y D de la planta topográfica (Figura N°5.1), sin escala.



0+055 SECCIÓN E



0+060 SECCIÓN F

FIGURA N°5.3c: Secciones transversales de la Cárcava, las cuales corresponden a la sección E y F de la planta topográfica (figura N°5.1), sin escala.

5.4.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

El subsuelo de la zona afectada por la Cárcava está constituido básicamente por cenizas volcánicas; en el *mapa geológico de El Salvador*, se indica la presencia de *piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas (Tierra Blanca Joven, S4)* principalmente correspondiente a la formación San Salvador y Cuscatlán, caracterizados de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como Arenas Limosas (SM), además se han localizado estratos de Arenas Limosas muy cementadas conocidas como tobas. En este tipo de materiales al tratarse de un suelo parcialmente saturado, existe una cementación entre partículas debida a la humedad que mantiene estables los taludes de tierra blanca, hasta que se presentan los períodos de lluvias fuertes o se da un terremoto, que rompe la unión que existe entre las partículas. Debido a este fenómeno, estos materiales geológicos presentan vulnerabilidad a sufrir procesos erosivos al verse expuestos a flujos hídricos, por lo que se debe evitar que el agua infiltre o escurra sobre los taludes, siendo este el origen del problema de las Cárcavas. Es por eso que el largo período de la estación lluviosa y las altas precipitaciones en el AMSS, a las que están expuestos los materiales ignimbríticos, favorecen la infiltración y el proceso de erosión.

En la Tabla N°5.1 se presentan las características mecánicas de los diferentes estratos (Ver Figura N°5.4) que se utilizarán en el diseño de las obras de remediación para la Cárcava en análisis²¹.

²¹ Estos valores han sido retomados de estudios de suelos realizados en la zona, tanto en tesis, investigaciones bibliográficas y otros. Sin embargo, cuando se realice el análisis para diseñar obras de protección para Cárcava, el diseñador deberá realizar los ensayos necesarios para determinar las características mecánicas específicas del sitio.

Se considerará como posible profundidad de desplante 2.0 m, abajo del nivel del lecho de la quebrada (pie del talud formado por la Cárcava). A esa profundidad puede considerarse una capacidad admisible del suelo de 2.5 kg/cm².

MATERIAL	ESPESOR (m) aprox.	PESO VOLUMÉTRICO		COHESIÓN		ÁNGULO F.I (°)
		T/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kpa	
Estrato N°1	5	1.40	13.73	0.10	9.81	28
Estrato N°2	19	1.60	15.69	0.20	19.61	30
Estrato N°3	15	1.60	15.69	1.00	98.07	35

TABLA N°5.1: Propiedades mecánicas de los estratos que conforman el talud, donde se localiza la Cárcava.

FUENTE: Resultados obtenidos de ensayos realizados en la zona de estudio.

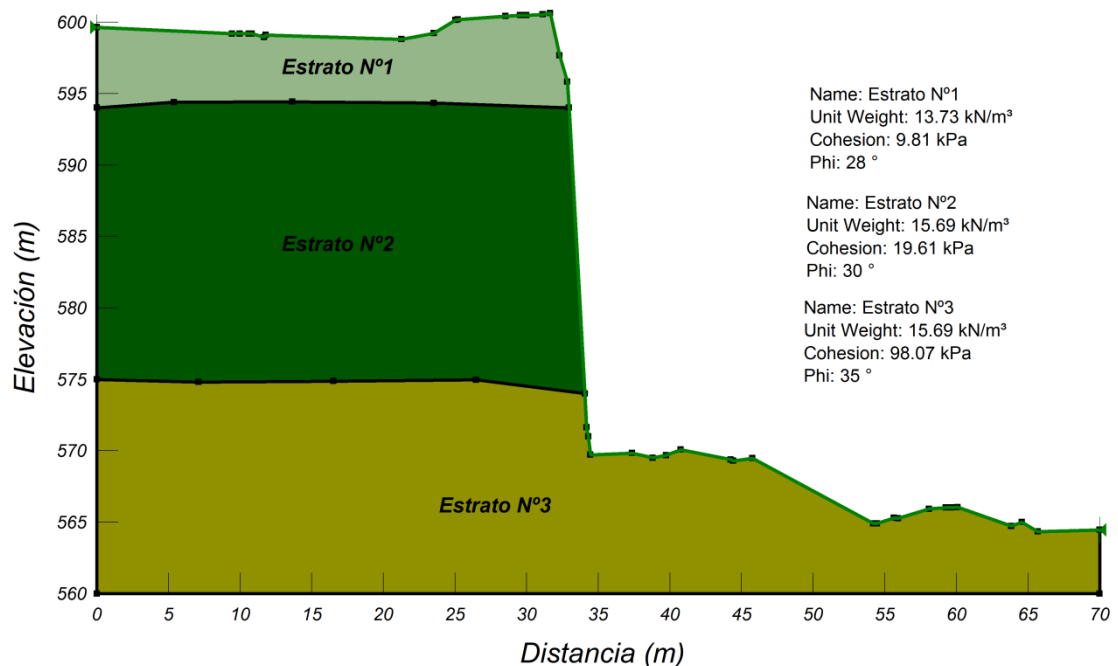


FIGURA N°5.4: Propiedades mecánicas de los estratos que conforman el talud, donde se localiza la Cárcava.

FUENTE: Resultados obtenidos de ensayos realizados en la zona de estudio.

Debido a las características de la TBJ, los taludes que conforma son prácticamente verticales y estos presentan procesos físicos que provocan la rotura de los taludes (mecanismos de falla), tal como se menciona a continuación:

Muestran fisuras que luego progresan a grietas paralelas a la cara del talud, éstas 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, la acción de las lluvias, emplazamiento y desarrollo de raíces en su interior, y las sacudidas producidas por los sismos. Entonces, al llover, el agua entra en las grietas produciendo un aumento de la presión de poro. A su vez, las corrientes de agua erosionan las aristas de las grietas haciendo que se ensanchen. La repetición de este proceso contribuye a que la grieta se abra, facilitando aún más la circulación del agua y la penetración y desarrollo de raíces de plantas. En estas condiciones y ante la presencia de una lluvia torrencial, aumenta el esfuerzo cortante en la discontinuidad, por el aumento de peso del agua intersticial, venciendo así las fuerzas resistentes, provocando que caiga la sección exterior a la discontinuidad, lo que describe un mecanismo de falla tipo vuelco.

Otro mecanismo de falla que se puede observar en este tipo de material geológico corresponde a los flujos; esta ocurrencia de falla está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales sub-superficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

En cuanto a la actividad sísmica la TBJ es especialmente contraproducente, pues cuando una onda sísmica pasa de un material más duro a otro más blando y poco

consolidado, como es el caso de la TBJ, ésta disminuye la velocidad y aumenta su amplitud, de manera que las vibraciones son más fuertes y por lo tanto más dañinas, en cuanto a la apertura de las discontinuidades.

5.4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

El presente estudio hidrológico se ha realizado en la cuenca de la quebrada que fluye en el lado oriente de la Cárcava en análisis. El estudio tiene dos puntos de interés, el primero ubicado en la descarga de la aguas lluvias al final de la calle donde se ha generado la Cárcava, al cual llamaremos sub-cuenca N°1, como se puede observar en la Figura N°5.5 se trata de una cuenca estrictamente urbana donde el sistema de aguas lluvias define el aporte de las áreas tributarias al punto de interés. El segundo punto de análisis se localiza sobre la quebrada que se encuentra al lado oriente de la Cárcava, a la que llamaremos sub-cuenca N°2 (Ver Figura N°5.6). Como se puede observar en la Figura N°5.8, esta sub-cuenca cuenta con áreas de aporte urbanas y áreas rurales.

El estudio hidrológico tiene como propósito determinar los caudales máximos que genera la cuenca para un período de retorno de 50 años, los cuales nos permitirán proponer las obras de protección y drenaje necesarias para contrarrestar el proceso de erosión en la Cárcava.

a. Características de la Cuenca.

En la Tabla N°5.2, se presenta la información de las principales características que presentan las dos sub-cuencas en análisis. (Ver Figuras N°5.5 y N°5.6)

CARACTERÍSTICAS	SUB-CUENCA N°1	SUB-CUENCA N°2
Área Total (km ²)	0.0517	0.8900
Longitud del cauce más largo (km)	0.325	1.807
Pendiente promedio (%)	3	5
Elevación Mínima (msnm)	600	568
Elevación Máxima (msnm)	609	657

TABLA N°5.2: Características de las Sub-cuencas.

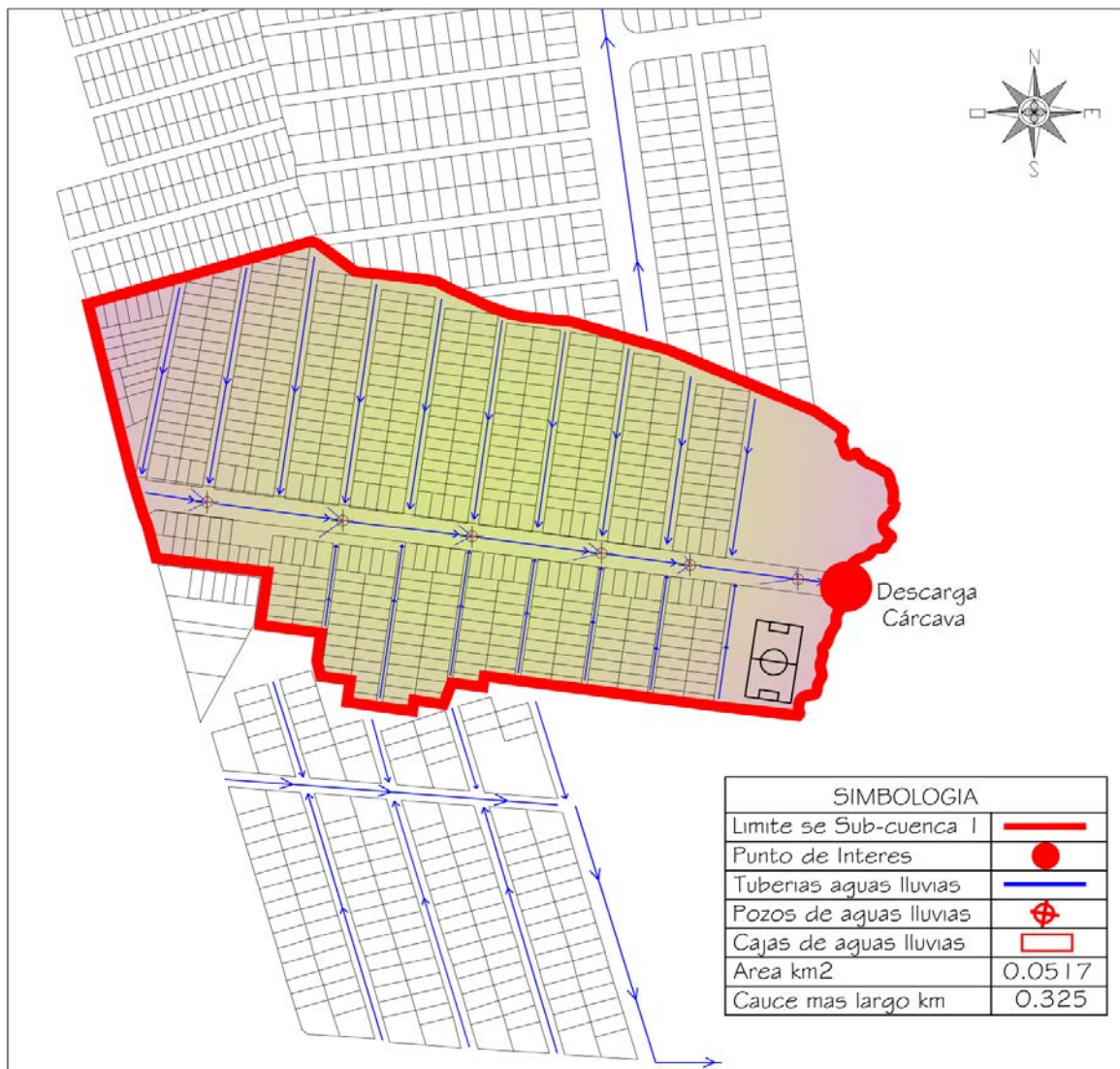


FIGURA N°5.5: Límites de la sub-cuenca N°1 (Descarga de aguas lluvias) y sus principales características, sin escala.

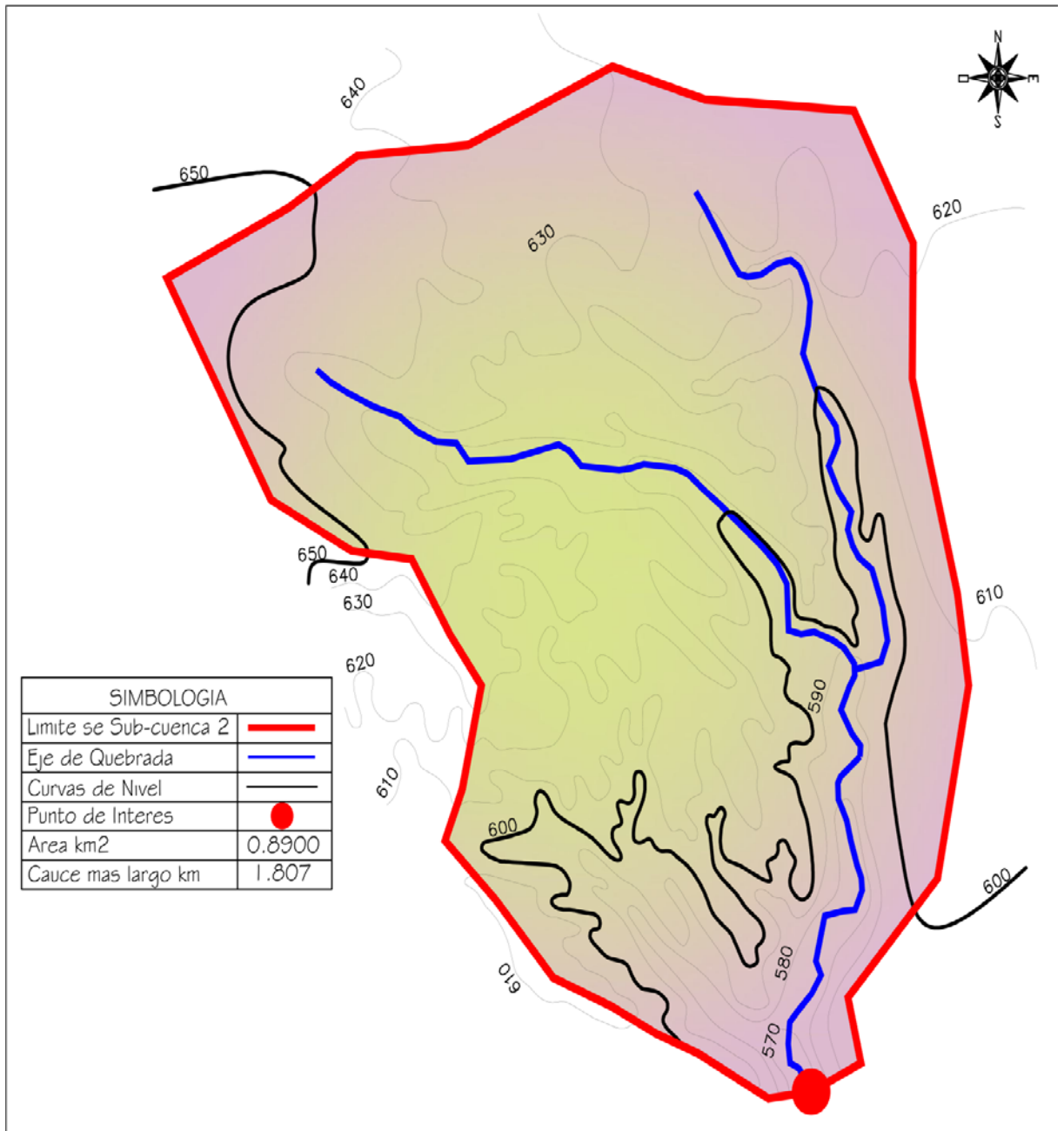


FIGURA N°5.6: Límites de la sub-cuenca N°2 (Sobre la quebrada aledaña a la Cárcava) y sus principales características, sin escala.

b. Tiempo de Concentración.

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de agua en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de estudio o de interés. Por las características físicas de la cuenca como son: pendiente promedio del cauce más largo, área de la cuenca y los diferentes usos del suelo se han seleccionado dos métodos diferentes para el cálculo del tiempo de concentración y se muestran a continuación:

• **Tiempo de Concentración por Kirpich:**

$$T_c = 0.0078 * \left(\frac{L_c^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

T_c = Tiempo de Concentración en minutos

L_c = Longitud del cauce principal en pies

S = Pendiente promedio de la cuenca, adimensional

• **Tiempo de Concentración por California Culverts Practice:**

$$T_c = 60 * \left(\frac{11.9 * L_c^3}{H} \right)^{0.385}$$

T_c = Tiempo de Concentración en minutos

L_c = Longitud del cauce principal en millas

H = Diferencia de nivel entre la elevación máxima y mínima en pies

SUB-CUENCA	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL			ELEVACIONES				PENDIENTE PROMEDIO	TIMPO DE CONCENTRACIÓN (min)	
	km	PIES	MILLAS	MÁXIMA		MÍNIMA			KIRPICH	CALIFORNIA
				METROS	PIES	METROS	PIES			
SUB-CUENCA N°1	0.325	1,066.27	0.20	609.00	1,998.03	600.00	1,968.50	0.0277	6.66	6.67
SUB-CUENCA N°2	1.807	5,928.48	1.12	657.00	2,155.51	568.00	1,863.52	0.0493	19.98	20.01

TABLA N°5.3: Cálculos del Tiempo de Concentración.

- *El Tiempo de Concentración que se utilizará en los cálculos de la sub-cuenca N°1 en base a los resultados obtenidos será de 5 minutos (Ver Tabla N°5.3).*
- *El Tiempo de Concentración que se utilizará en los cálculos de la sub-cuenca N°2 en base a los resultados obtenidos será de 20 minutos (Ver Tabla N°5.3).*

c. Uso de Suelo de la Cuenca:

De la información recabada se pudo determinar los diferentes usos de suelos entre los que podemos mencionar los siguientes:

Área Urbana: esta área comprende urbanizaciones densamente pobladas que cuentan con los servicios básicos necesarios, además estas viviendas poseen patios y zonas verdes.

Área Rural: esta área comprende a zonas con vegetación densa destinadas como zonas de protección, zonas verdes y predios baldíos.

Hidrológicamente las áreas consideradas urbanas son las que producen la mayor escorrentía y una rápida respuesta de ésta ante la lluvia, y las zonas semiurbanas o zonas de protección de las quebradas y las zonas rurales producen menor escorrentía y ayudan a amortiguar la crecida. En la Tabla N°5.4 se presenta la distribución del Uso de Suelos en cada sub-cuenca (Ver Figura N°5.7 y N°5.8.)

USO DE SUELOS	SUB-CUENCA N°1	SUB-CUENCA N°2
Urbano	0.0517	0.4429
Rural	0.0000	0.4471
Total	0.0517	0.8900

TABLA N°5.4: Distribución de Usos de Suelos.

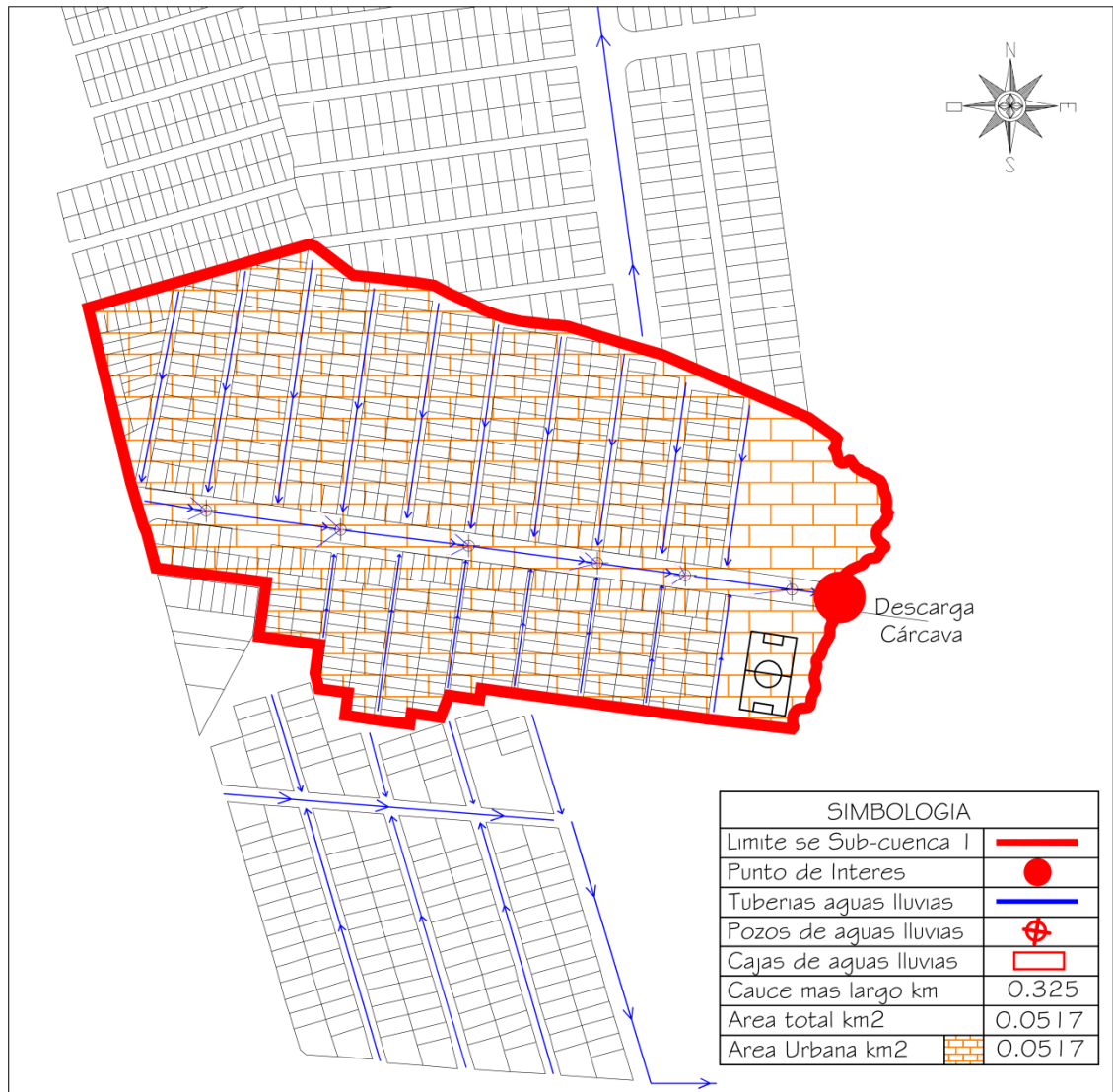


FIGURA N°5.7: Uso de suelos de la sub-cuenca N°1 y sus principales características, sin escala.

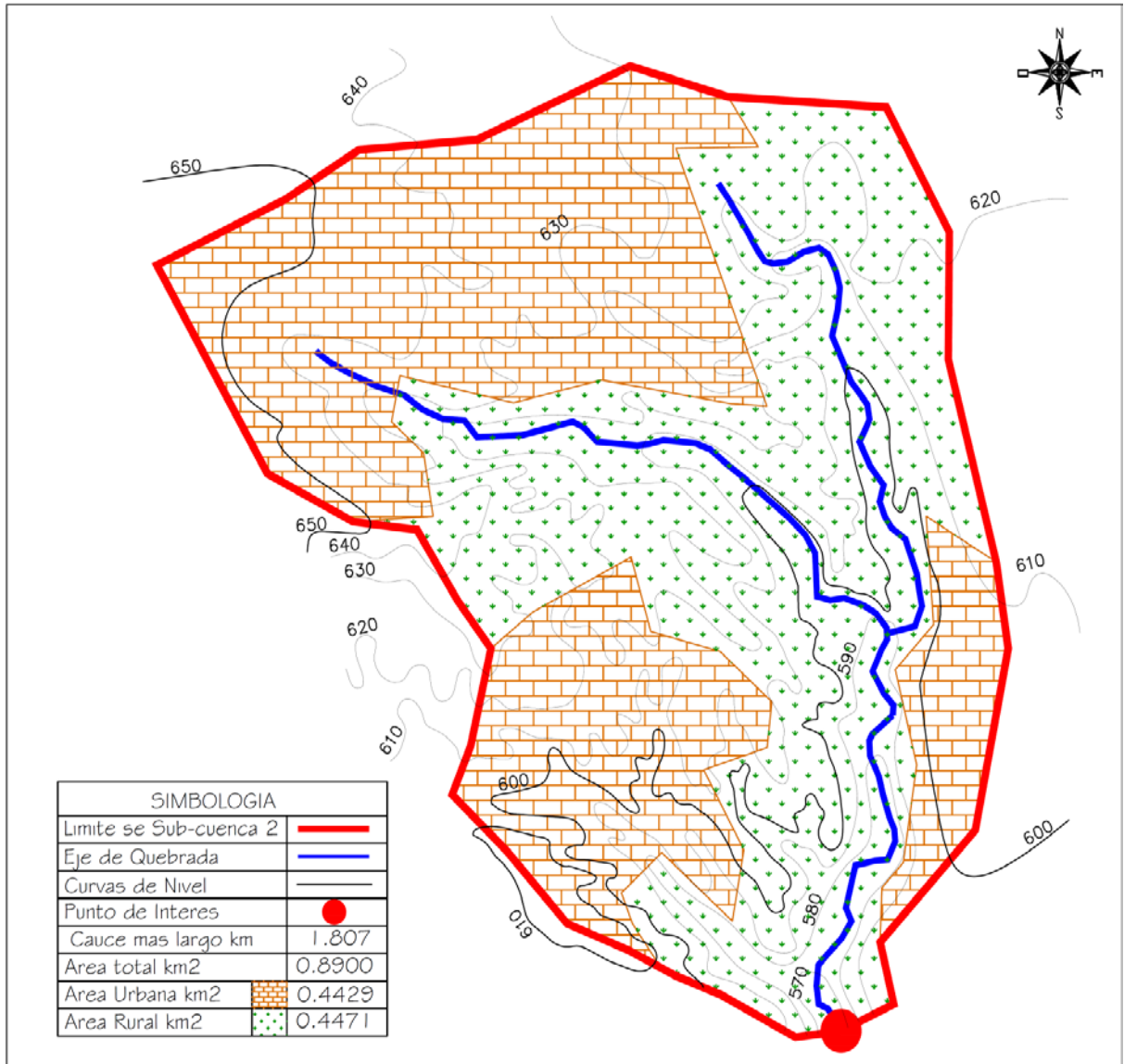


FIGURA N°5.8: Uso de suelos de la sub-cuenca N°2 y sus principales características, sin escala.

d. Coeficiente de Escorrentía.

Se denomina escorrentía superficial a la cantidad de agua que no es absorbida por el suelo; en cambio, escurre por la superficie. El coeficiente de escorrentía adopta un valor que depende de la naturaleza de la superficie, de los usos del suelo y las pendientes del terreno, vegetación, permeabilidad, inclinación, humedad inicial del suelo, entre otros.

En la Tabla N°5.5 se presentan los diferentes valores de coeficiente de escorrentía que serán utilizados en el cálculo de los caudales:

USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
Urbano	0.80
Rural	0.45

TABLA N°5.5: Coeficientes de escorrentía a utilizar en los diferentes Usos de Suelos.

FUENTE: Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, Mc Graw Hill.

- ***Cálculo de Coeficientes de Escorrentía Ponderado:***

Ya que en la cuenca se encuentran diferentes usos de suelos, será necesario calcular el Coeficiente de Escorrentía Ponderado que resulta de la multiplicación de cada área con su coeficiente, la sumatoria de esos productos es dividida entre el total de área, lo que da como resultado el coeficiente de escorrentía ponderado, tal como se presenta en las Tablas N°5.6 y N°5.7:

- **Sub-cuenca N°1:**

USO DE SUELO	ÁREA km ²	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	ÁREA * COEFICIENTE	COEFICIENTE PONDERADO
Urbano	0.0517	0.80	0.0413	0.80
Rural	0.0000	0.45	0.0000	
	0.0517		0.0413	

TABLA N°5.6: Cálculo del Coeficiente de Escorrentía ponderado de la sub-cuenca N°1.

$$C_p = \frac{\sum(Area * Coeficiente)}{\sum(Areas)} = \frac{0.0413}{0.0517}$$

$$C_p = 0.80$$

- **Sub-cuenca N°2:**

USO DE SUELO	ÁREA km ²	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	ÁREA * COEFICIENTE	COEFICIENTE PONDERADO
Urbano	0.4429	0.80	0.3543	0.62
Rural	0.4471	0.45	0.2012	
	0.8900		0.5555	

TABLA N°5.7: Cálculo del Coeficiente de Escorrentía ponderado de la sub-cuenca N°2.

$$C_p = \frac{\sum(Area * Coeficiente)}{\sum(Areas)} = \frac{0.5555}{0.8900}$$

$$C_p = 0.62$$

e. Intensidades de Lluvia.

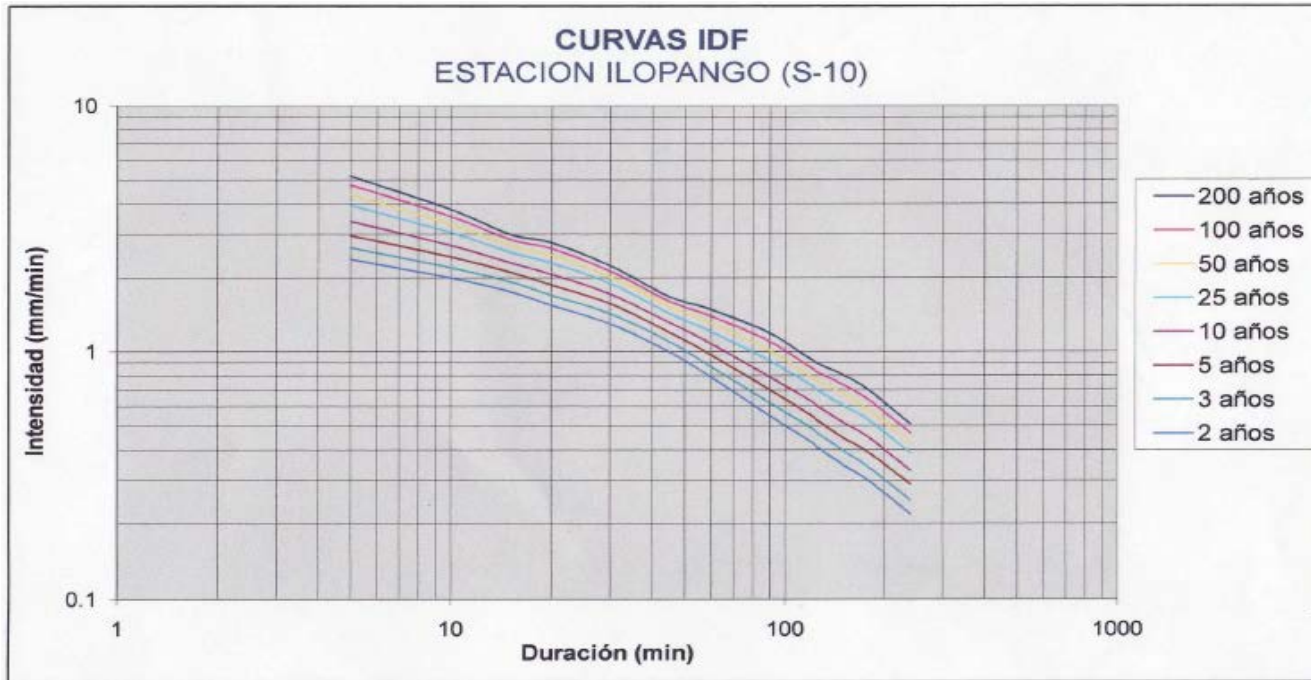
Para el cálculo de los caudales máximos es necesario determinar las intensidades de lluvia que se utilizarán, las cuales están en función del tiempo de duración de la tormenta y el período de retorno requerido para el diseño de las obras de drenaje necesarias, para esto se ha seleccionado la estación meteorológica S-10 Aeropuerto de Ilopango, monitoreada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) (Ver Figura N°5.9), dicha estación está a una elevación de 615 msnm y en las coordenadas N13°41.9', W89°07.1'; la cual ha proporcionado datos de Intensidades de Lluvia en mm/minuto desde 1953 hasta el 2005 para diferentes duraciones, la Curva Intensidad – Duración y Frecuencia (IDF), de la Estación del Aeropuerto de Ilopango, hasta períodos de retorno de 200 años y también las diferentes intensidades, duraciones y períodos de retorno en una tabla y el plano de ubicación de la Estación del Aeropuerto de Ilopango.

Considerando una tormenta de diseño con duración igual al tiempo de concentración, las intensidades que se utilizarán para el cálculo de los caudales serán tal como se detalla en la Tabla N°5.8 siguiente:

SUB-CUENCA	DURACIÓN DE TORMENTA (min)	INTENSIDAD (mm/min)	INTENSIDAD (mm/hora)
Sub-cuenca N°1	5	4.37	262.2
Sub-cuenca N°2	20	2.47	148.2

TABLA N°5.8: Intensidades de lluvia en mm/min, mm/hora, para un periodo de retorno de 50 años.

FUENTE: Estación Meteorológica S-10 Aeropuerto de Ilopango, SNET.



Para todo el registro de datos								
	200 años	100 años	50 años	25 años	10 años	5 años	3 años	2 años
5	5.20	4.78	4.37	3.95	3.4	2.97	2.65	2.38
10	3.79	3.55	3.31	3.06	2.71	2.43	2.20	2.00
15	3.01	2.87	2.71	2.55	2.31	2.11	1.93	1.76
20	2.78	2.63	2.47	2.30	2.07	1.87	1.70	1.55
30	2.24	2.13	2.02	1.90	1.72	1.57	1.43	1.30
45	1.68	1.61	1.53	1.44	1.32	1.20	1.10	1.00
60	1.49	1.40	1.31	1.21	1.08	0.97	0.87	0.79
90	1.19	1.10	1.01	0.92	0.79	0.70	0.62	0.55
120	0.93	0.86	0.79	0.73	0.63	0.55	0.49	0.43
150	0.81	0.74	0.68	0.61	0.52	0.45	0.4	0.35
180	0.70	0.64	0.58	0.53	0.45	0.39	0.34	0.30
240	0.51	0.47	0.43	0.39	0.33	0.29	0.25	0.22



FIGURA N°5.9: Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF),
FUENTE: Estación Meteorológica S-10 Aeropuerto de Ilopango, SNET.

f. Modelo de Escurrimiento a Utilizar en el Estudio.

El modelo de escurrimiento utilizado para el cálculo de caudales, fue el método racional, usado en cuencas con áreas menores que 1.5 km², que cuentan en su mayoría con áreas urbanas, representándose así:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Dónde:

- Q* = Caudal Hidrológico, en m³/s
- C* = Coeficiente de escorrentía, adimensional
- I* = Intensidad de la lluvia, en mm/hora
- A* = Área de la cuenca, en km²

- **Caudal hidrológico SUB-CUENCA N°1**

Datos:

- C* = 0.80
- I* = 262.20mm/hora (*)
- A* = 0.0517 km²

* Para el cálculo del caudal hidrológico se utilizarán intensidades para 5 minutos, para un período de retorno de 50 años.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$
$$Q = 0.278 * 0.80 * 262.2 * 0.0517$$
$$Q = 3.01 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal hidrológico SUB-CUENCA N°2**

Datos:

- C* = 0.62
- I* = 148.20 mm/hora, (*)
- A* = 0.8900 km²

* Para el cálculo del caudal hidrológico se utilizarán intensidades para 20 minutos para un período de retorno de 50 años.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$
$$Q = 0.278 * 0.62 * 148.20 * 0.8900$$
$$Q = 22.73 \frac{m^3}{s}$$

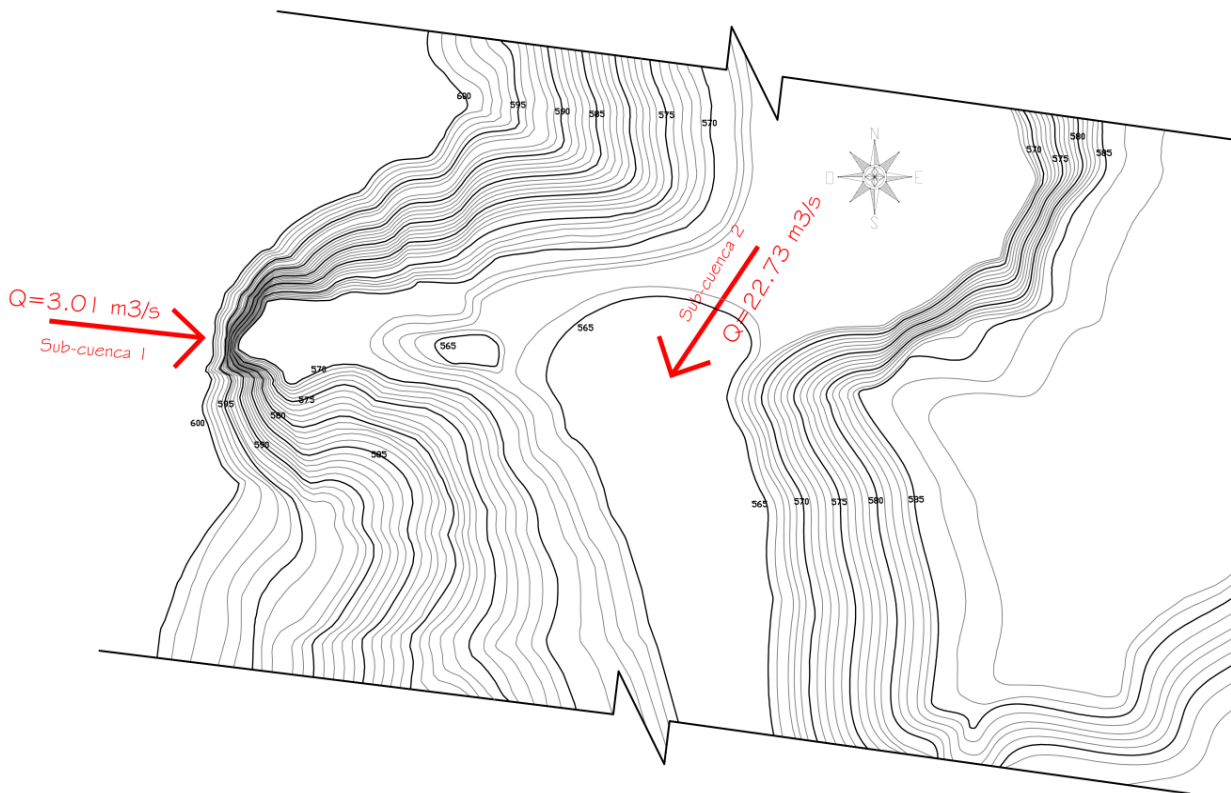


FIGURA N°5.10: Aporte de los caudales hidrológicos en la Cárcava, sin escala.

En la Figura N°5.10 se presenta un esquema del aporte de los caudales hidrológicos que tiene la Cárcava, se puede observar que en el escarpe por el colector de 42" se conduce un caudal de 3.01 m³/s (lo que ocasionó el origen de la Cárcava) y en el cauce de la quebrada escurre un caudal de 22.73 m³/s, lo que agudizó el problema ocasionando erosión en los laterales de la quebrada.

5.4.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO

El presente análisis hidráulico tiene como propósito determinar la capacidad hidráulica del colector de aguas lluvias (tubería plástica de 42 pulgadas), donde se ha generado el proceso de erosión, además establecer el nivel de aguas máximas en el cauce de la quebrada adyacente a la Cárcava, para definir la influencia que este puede tener en las obras a proyectar, para esto se utilizarán los caudales calculados en el análisis hidrológico.

La fórmula de Manning fue utilizada para el cálculo de la velocidad, tal como se detalla a continuación.

$$V = \frac{1}{n} * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

V = Velocidad del flujo, m/s

n = Coeficiente de Manning, adimensional

S = Pendiente de tramo de tubería, m/m

R = Radio hidráulico, m

$$R = \frac{A}{P_m}$$

A = Área hidráulica, m²

P_m = Perímetro mojado, m

Para el cálculo de la capacidad hidráulica, se aplicó la ecuación de continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal hidrológico, m³/s

V = Velocidad del flujo, m/s

A = Área hidráulica, m²

- **Colector de aguas lluvias (tubería plástica de 42 pulgadas)**

El colector de aguas lluvias finaliza con una tubería plástica de 42 pulgadas de diámetro (longitud = 15 m), donde se ha generado el proceso de erosión.

$$n = 0.010, (\text{Plásticas, PVC})^{22}$$

$$S = 1 \%$$

TRAMO	S (%)	∅ (PULGADAS)	n	A _h (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	V (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA (m ³ /s)	CAUDAL HIDROLÓGICO (m ³ /s)	CAPACIDAD A LA QUE TRABAJA LA TUBERÍA (%)
Último tramo	1.00%	42 pulg.	0.010	0.89	3.35	0.27	4.14	3.70	3.01	81

TABLA N°5.9: Cálculos hidráulicos para el colector de aguas lluvias.

La capacidad hidráulica a tubo lleno para la tubería de 42 pulgadas es de 3.70 m³/s (Ver tabla N°5.9) y el caudal hidrológico de 3.01 m³/s, es decir la tubería se encuentra trabajando al 81% de su capacidad, se puede constatar que el colector de aguas lluvias tiene capacidad hidráulica para conducir los caudales hidrológicos generados por las áreas tributarias a dicho colector, mas sin embargo, no cuenta con una obra de descarga que garantice la entrega de las aguas a la quebrada.

- **Cauce de la Quebrada**

Para realizar el análisis hidráulico en el cauce de la quebrada se utilizará la sección transversal donde se localiza la Cárcava, considerando los márgenes de la quebrada en estado inalterado, es decir, sin el proceso de denudación provocado por la Cárcava.

$$n = 0.030, (\text{Cauce sin vegetación})^{23}$$

$$S = 3 \%$$

²² Según lo investigado por los fabricantes.

²³ Tomado de la tabla 2.5.1 Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.

NIVEL (msnm)	ALTURA DE AGUA (m)	S (%)	n	A _h (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	V (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA (m ³ /s)	CAUDAL HIDROLÓGICO (m ³ /s)
569	3.40	3.00%	0.030	62.1673	24.26	2.56	10.81	672.21	22.73
568	2.40	3.00%	0.030	43.1291	22.08	1.95	9.02	389.13	22.73
566	1.40	3.00%	0.030	24.7228	19.89	1.24	6.67	165.02	22.73
565.50	0.90	3.00%	0.030	15.7786	18.75	0.84	5.15	81.19	22.73
565	0.40	3.00%	0.030	7.0384	17.47	0.40	3.15	22.17	22.73

TABLA N°5.10: Cálculos hidráulicos para determinar la capacidad hidráulica del cauce.

En la Figura N°5.11 se presenta la sección utilizada para determinar la altura máxima que alcanza el agua, con el caudal hidrológico máximo de diseño. Se considera que la margen derecha de la quebrada (desde aguas arriba) se encuentra sin alteraciones por la erosión de la Cárcava (línea vertical roja).

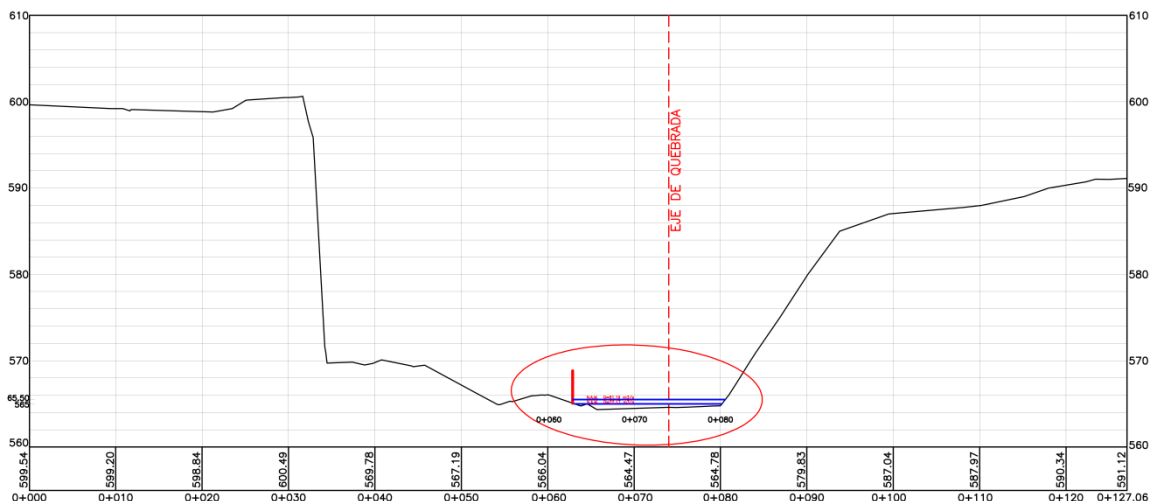


FIGURA N°5.11: Sección del cauce de la quebrada utilizada para determinar su capacidad hidráulica. Sin escala.

En la Figura N°5.12 se muestra el nivel de aguas máximas (N.A.M), obtenido para diferentes caudales (Ver Tabla N°5.10), según los resultados obtenidos con una altura de agua de 0.40 m se puede transportar un caudal de 22.17 m³/s (565.00 msnm) y con una altura de 0.90 m se puede transportar 81.19 m³/s (565.50 msnm). Es decir que

dentro de este rango de altura se puede transportar el caudal hidrológico de diseño en el cauce de la quebrada $Q_{dis}=22.73 \text{ m}^3/\text{s}$.

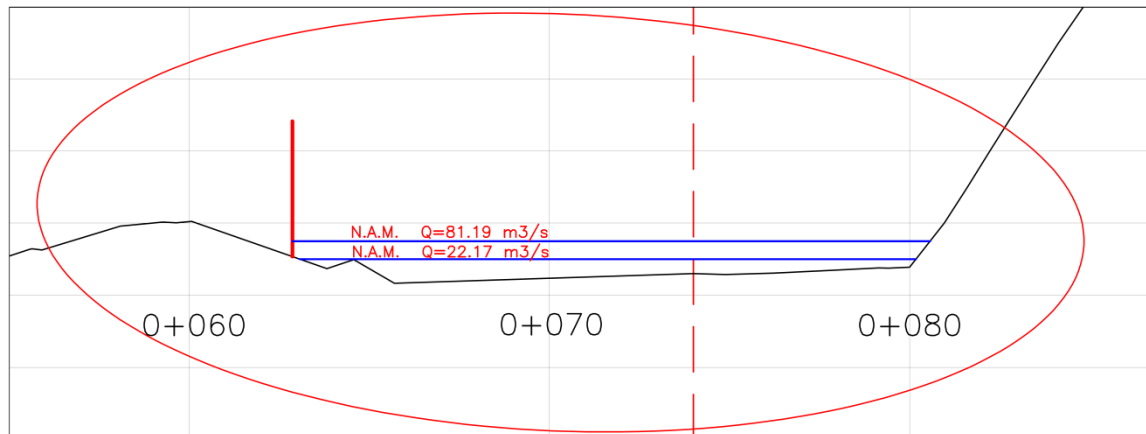


FIGURA N°5.12: Nivel de las aguas máximas para el caudal hidrológico. Sin escala.

Según los resultados obtenidos las obras de protección que se proyecten en la margen derecha de la quebrada, deberán tener una altura mayor de 1 m (desde el lecho de la quebrada sobre el eje, con una elevación de 564.6 msnm), y éstas deben contar con las medidas necesarias para garantizar que el paso del agua en la quebrada no las afecte.

5.5 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para diseñar soluciones específicas para una Cárcava, es necesario desarrollar previamente estudios que logren describir las condiciones en las que se encuentra, de esta manera se puede entender el porqué del surgimiento de la Cárcava y el proceso erosivo que sigue, para atacar directamente los puntos críticos que esta tiene y así evitar que avance en tamaño y daño producido. En nuestra investigación se han realizado estudios tal como se ha descrito en el apartado 5.4, insumos que nos han ayudado a proponer las diferentes alternativas de solución para la Cárcava en análisis, como se describe a continuación:

5.5.1 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1

Para la Propuesta de Alternativa de Solución N°1 se ha tomado como área de influencia, un largo de 59 m desde la corona de la Cárcava y un ancho aproximado de 41 m comprendido entre los laterales de la Cárcava, (Ver Figura N°5.13).

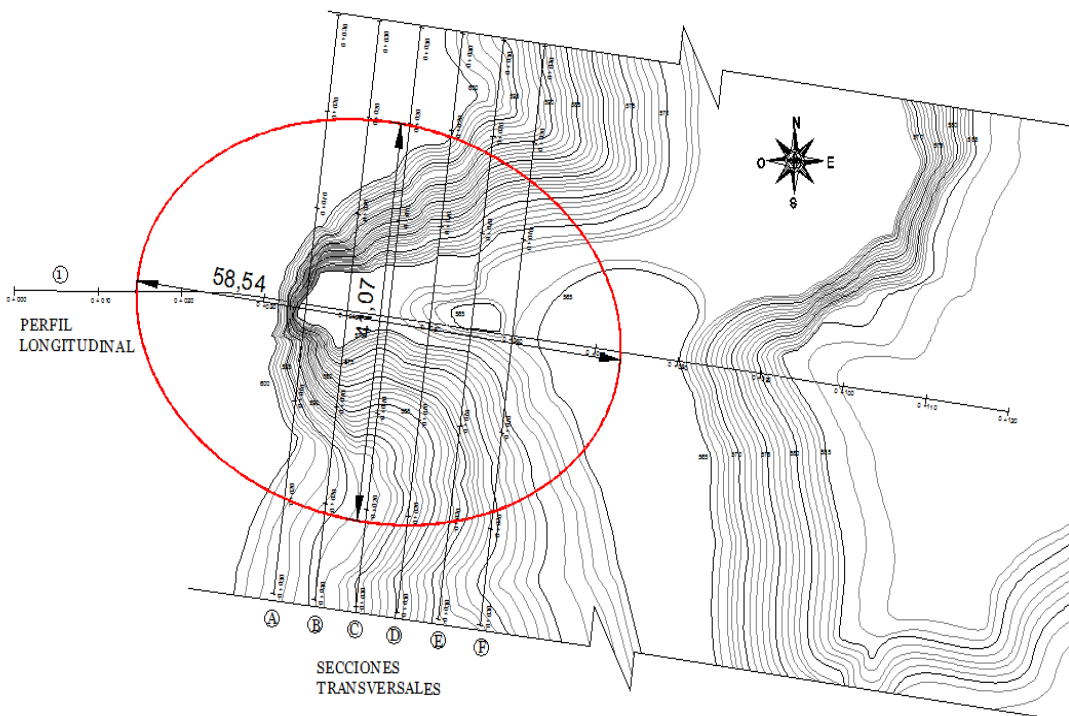


FIGURA N°5.13: Límites del área donde se proyectarán las Obras de Solución N°1.

Esta área se ha definido de acuerdo a la zona afectada por el avance de la Cárcava y el área necesaria para proyectar las obras de solución. El objetivo de esta alternativa es proponer una solución integral que controle el avance de la Cárcava, conduzca las aguas de escorrentía superficial de la urbanización, proteja los taludes del proceso erosivo y les brinde estabilidad, disminuya el riesgo de avance de la corona hacia aguas arriba y reduzca la vulnerabilidad de las poblaciones cercanas a la Cárcava.

Los elementos que componen la propuesta de solución dentro de esta alternativa comprenden las siguientes obras²⁴, (Ver en Anexo N°8, Planos de Alternativas de Solución N°1).

- Se proyectará un cabezal de descarga de mampostería de piedra con un área de 3.00 m x 2.70 m y un espesor de 1.50 m, este último considerando una relación de 1.5 veces el diámetro de en la salida del colector de aguas lluvias (tubería de Ø42”), tiene como objetivo proteger la tubería en la transición del colector hacia el canal abierto de mampostería de piedra.

- Descarga de las aguas lluvias de la urbanización:
 - Se proyectará un canal abierto de 1.60 m de ancho interno y 4.50 m de largo con paredes de 1.50 m de altura, con el objetivo de aumentar el área hidráulica, disminuir las altas velocidades de las aguas que conduce el colector y canalizar las aguas hacia un derramadero.

 - Derramadero de mampostería de piedra (gradas disipadoras de energía), con el objetivo de conducir de manera controlada el agua de escorrentía hasta la quebrada, dicha obra hidráulica tiene un ancho interno de 1.60 m, paredes laterales de 1.50 m, altura y longitud de caídas de 1.50 m, donde se localizan las bermas la longitud de grada aumenta a 4.00 m.

- Conformación de taludes con material de relleno revegetados con zacate vetiver y zacate barrenillo, con una pendiente con inclinación de 45° y desnivel de 4.5 m

²⁴ Las dimensiones propuestas son resultados de los análisis realizados para cada elemento, los cuales satisfacen con los requerimientos necesarios para garantizar su buen funcionamiento.

donde se localizan bermas impermeabilizadas con una capa de concreto de 5 cm de espesor, estas cuentan con un ancho de 2.50 m con una pendiente de 5% hacia dentro del talud y 3% longitudinalmente para garantizar la evacuación del agua.

- Sistema de drenaje superficial, que consiste en la colocación de una canaleta trapezoidal en la corona del talud, y canaletas media caña de concreto ($\varnothing 30$ cm), ubicadas en el cuerpo de los taludes, las cuales descargarán al derramadero.
- Drenaje subterráneo en el contacto del material de relleno y talud natural con el objetivo de evacuar el agua que pueda circular internamente en el talud.
- Muro Gavión en el pie del talud de 7.00 m de altura total, el cual le brindará protección y estabilidad al talud, al mismo tiempo proporcionará un margen estable al cauce de la quebrada; y se protegerá parte del lecho de la quebrada con el propósito de evitar socavación en las cimentaciones de la estructura.
- Obras complementarias que añadan soporte a las obras principales, como es la construcción de un muro perimetral para proteger la zona intervenida con las obras de protección, evitando el ingreso de personas ajenas.

Para las obras antes mencionadas, ha sido necesario realizar los siguientes análisis donde se plantea y justifica el diseño de cada elemento.

5.5.1.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El presente estudio fue realizado con el objetivo de establecer el grado de estabilidad de los suelos que conforman el talud natural ubicado en la margen derecha de la

quebrada, donde se localiza la Cárcava en análisis, y los taludes de relleno que se proyectarán en el lugar de la Cárcava.

- **METODOLOGÍA**

Los análisis de estabilidad de los taludes de la Cárcava se llevaron a cabo utilizando el programa informático de equilibrio límite SLOPE/W 2007, que permite al usuario realizar cálculos de estabilidad de taludes usando el equilibrio límite, mediante una variedad de métodos (GEO-SLOPE, 2007). Pueden utilizarse varios métodos para buscar la superficie de deslizamiento crítica, es decir, la superficie con el factor de seguridad más bajo para una determinada geometría y propiedades del material. El método Bishop fue utilizado para buscar la superficie de deslizamiento crítica, porque ese procedimiento evalúa tanto la fuerza como el equilibrio del momento, generando por consiguiente una solución más rigurosa. Se realizó tanto el análisis de estabilidad estático como el pseudoestático, donde se considera una aceleración horizontal para determinar la estabilidad que presenta el talud al someterse a las fuerzas sísmicas.

- **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES GEOLÓGICOS**

La quebrada está delimitada en ambos laterales por taludes que oscilan entre 20 m y 30 m (esta última altura corresponde al talud de la Cárcava), los cuales están conformados en su parte superior, por dos estratos constituidos por Arenas Limosas (SM), los cuales oscilan entre 19 m y 27 m de espesor, y en su parte inferior (pie de los taludes), se observó la presencia de suelos tipificados como Arenas Limosas consolidadas (Tobas, un estrato), con espesores vistos entre 1 m y 4 m, (Ver Figura N°5.14). El lecho de la quebrada está conformado principalmente por depósitos de arena, producto del arrastre ocasionado por los flujos permanentes de agua en la quebrada.

En la Tabla N°5.11 se presentan los parámetros geotécnicos utilizados para la modelación de los taludes:

MATERIAL	ESPESOR (m) aprox.	PESO VOLUMÉTRICO		COHESIÓN		ÁNGULO F.I (°)
		T/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kpa	
Estrato N°1	5	1.40	13.73	0.10	9.81	28
Estrato N°2	19	1.60	15.69	0.20	19.61	30
Estrato N°3	15	1.60	15.69	1.00	98.07	35

TABLA N°5.11: Propiedades mecánicas de los estratos que conforman el talud, donde se localiza la Cárcava.

FUENTE: Resultados obtenidos de ensayos realizados en la zona de estudio.

Además se utilizará material de bancos de préstamos para la conformación de taludes y obras de contención los cuales cuentan con las siguientes características (Ver Tabla N°5.12):

MATERIAL	PESO VOLUMÉTRICO		COHESIÓN		ÁNGULO F.I (°)
	T/m ³	kN/m ³	kg/cm ²	kpa	
Material de Relleno	1.50	14.71	0.60	58.84	33
Roca (Basalto)	2.40	23.54	0.00	0.00	40

TABLA N°5.12: Propiedades mecánicas de los materiales para la conformación de taludes.

FUENTE: Resultados obtenidos de ensayos realizados en la zona de estudio.

- **MODELACIÓN DEL TALUD NATURAL**

Para comenzar se realizó la modelación del talud en estado natural con los parámetros geotécnicos establecidos en la Tabla N°5.11, dicho análisis tiene como objetivo corroborar que el problema de erosión no corresponde a inestabilidad de taludes, pues estos cuentan con grandes alturas y pendientes casi verticales tal como se detalla en el perfil de la Figura N°5.14:

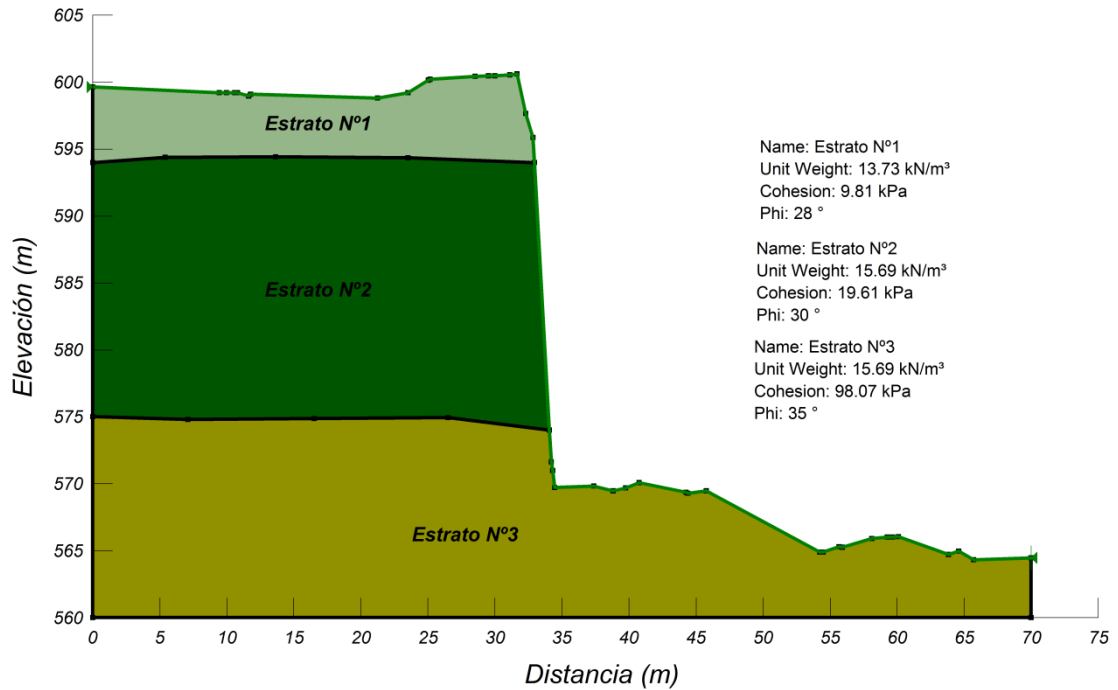


FIGURA N°5.14: Perfil longitudinal del talud donde se localiza la Cárcava en estado natural.

- **Análisis de Estabilidad Estático**

Este análisis evalúa el comportamiento del talud en condiciones estáticas es decir, en un estado en el que las posiciones relativas de los subsistemas no varían con el tiempo. Los resultados obtenidos de los factores de seguridad (FS), dependen de las propiedades mecánicas de los materiales geológicos, pendiente de los taludes y su geometría. Según la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, en condiciones estáticas los valores de factor de seguridad deben ser mayores que 1.40, lo que indica que taludes con FS iguales o mayores son estables, por lo tanto, podemos concluir que el talud en condiciones naturales se encuentra estable ya que el factor de seguridad más crítico es de **1.71**, (Ver Figura N°5.15) según los resultados obtenidos mediante el programa.

1.712

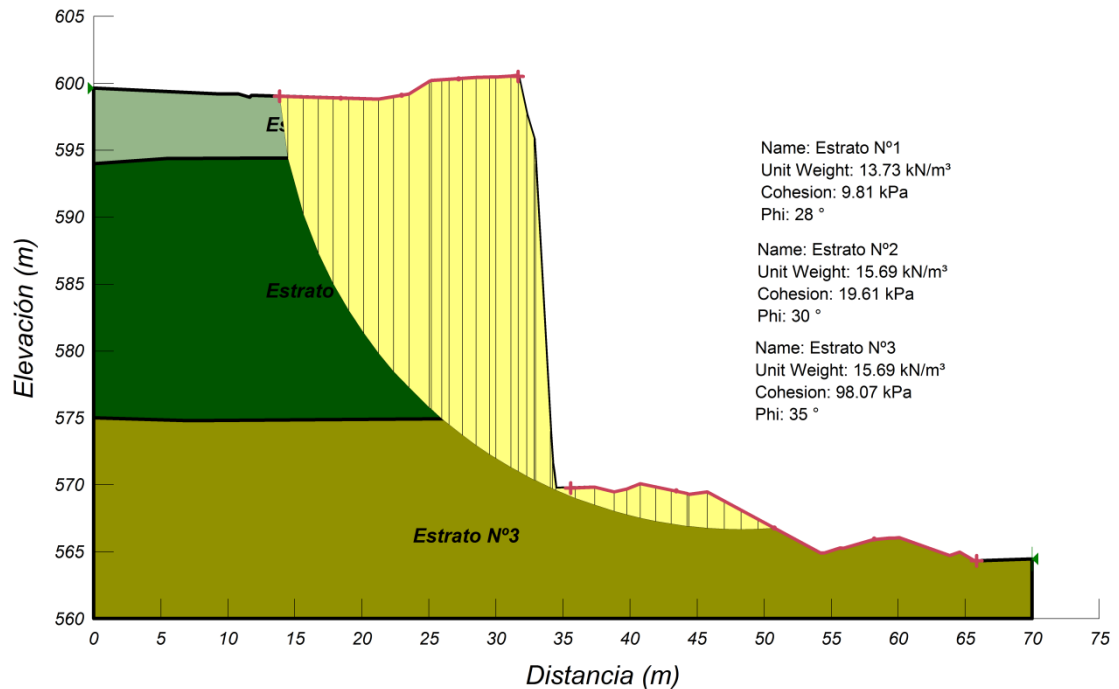


FIGURA N°5.15: Resultados obtenidos del análisis estático del talud natural, donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **Análisis de Estabilidad Seudoestático**

Para realizar el análisis seudoestático se ha considerado un coeficiente sísmico para determinar el comportamiento del talud al verse expuesto a fuerzas sísmicas, según la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, se debe utilizar 0.16 de coeficiente sísmico para la Zona I (zona de análisis, Ilopango), sin embargo utilizaremos en la modelación un valor de 0.20. En la Figura N°5.16 se presentan los resultados obtenidos en dicho análisis, donde se puede observar que el valor de seguridad más crítico es de **1.45**. Según la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, en condiciones seudoestáticas los valores de seguridad deben ser mayor de 1.1, por lo tanto el talud natural en condiciones dinámicas es estable.

1.448

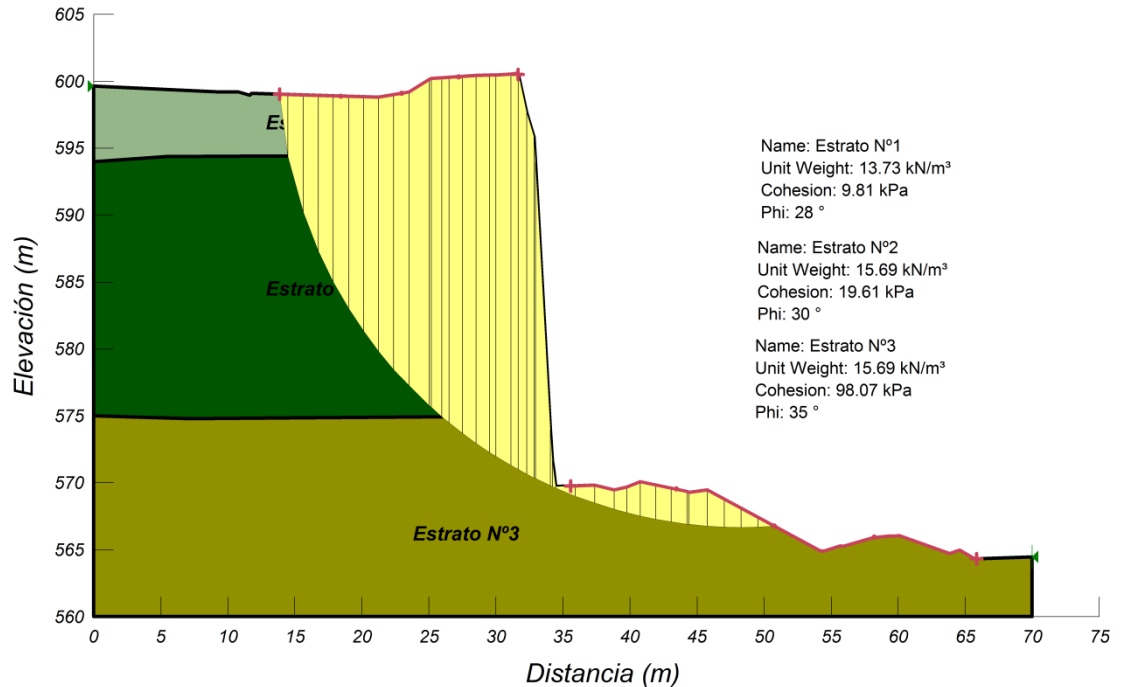


FIGURA N°5.16: Resultados obtenidos del análisis pseudoestático del talud natural, donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **Análisis de Estabilidad Pseudoestático, en condiciones Saturados C=0**

Además se ha evaluado el talud natural en condiciones saturadas de agua, es decir que el suelo pierde por completo la cohesión ($C = 0$) entre las partículas debido a la presión de poros generada por el agua, considerada como la condición más desfavorable. En la Figura N°5.17, se muestra el factor de seguridad alcanzado en dichas condiciones que corresponde a 0.66, menor que el requerido por la norma. De dicho análisis se concluye que se requieren obras de solución para estabilizar el proceso erosivo en la Cárcava, ya que en condiciones naturales el suelo alcanza dicho estado debido a la excesiva infiltración y escorrentía superficial, desarrollando el proceso de erosión en la Cárcava.

0.664

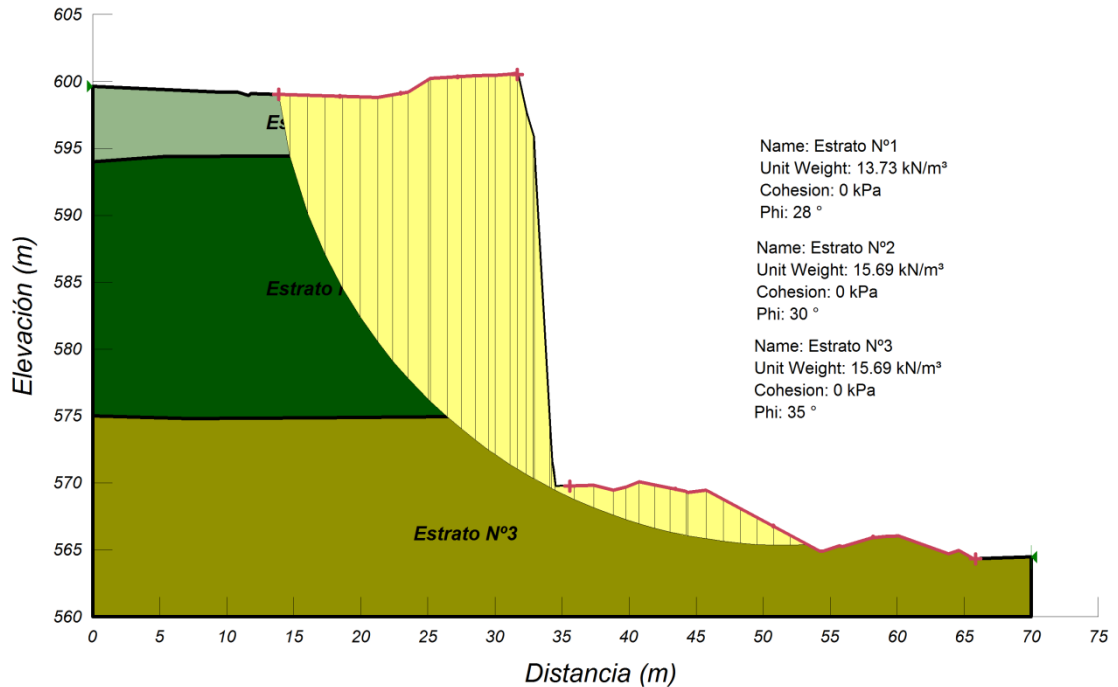


FIGURA N°5.17: Resultados obtenidos del análisis seudoestático del talud natural en condiciones saturadas ($C = 0$), donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

En la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, se proyectan taludes conformados con material de relleno a 45° de inclinación, dichos taludes tienen una altura de 4.50 m y bermas intermedias de 2.50 m de ancho (Ver Figura N°5.18), conformando cuatro terrazas de relleno donde se recomienda una obra de contención al pie de los taludes para estabilizar y proteger las obras, además se proyectan cortes en la corona del talud con el objetivo integrar y proteger la descarga de aguas lluvias. Se considera que con las obras de solución proyectadas el suelo no alcanzará su estado más desfavorable (saturado).

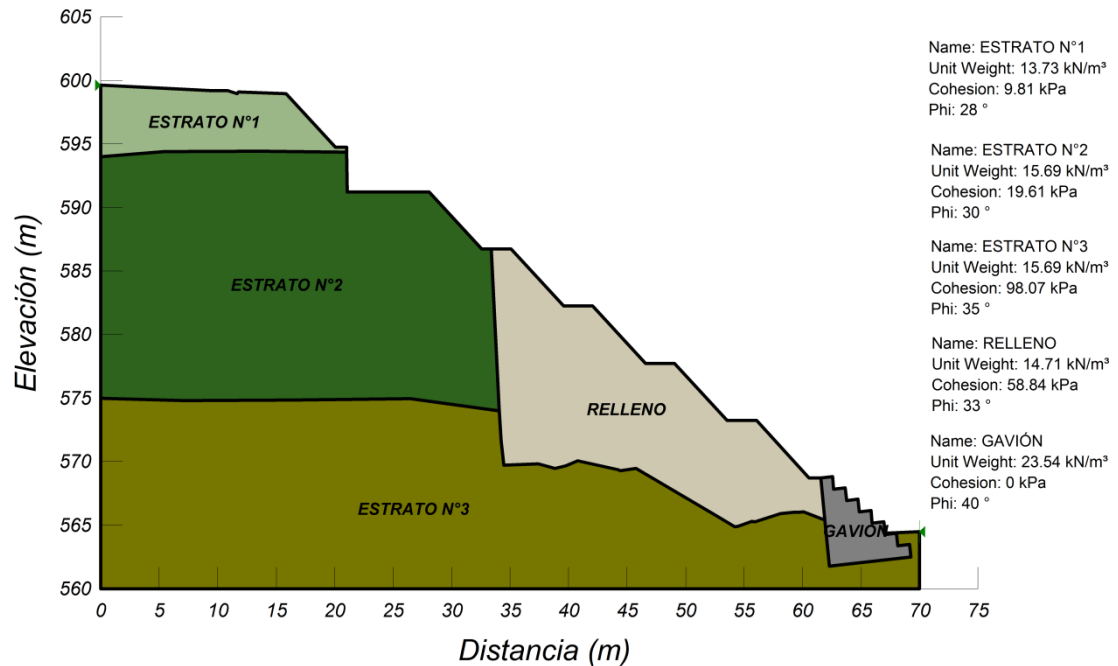


FIGURA N°5.18: Perfil longitudinal del talud donde se localiza la Cárcava con taludes conformados.

- **MODELACIÓN DE LOS TALUDES CONFORMADOS (FALLA GLOBAL)**

Se realizó la modelación de la conformación de los taludes con los parámetros geotécnicos establecidos en las Tablas N°5.11 y N°5.12. En esta evaluación se considera la falla abarcando tanto los taludes naturales como los rellenos propuestos en la solución, es decir una falla global.

- **Análisis de Estabilidad Estático**

Según la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, en condiciones estáticas, los valores de seguridad deben ser mayores que 1.40 lo que indica que taludes con dichos valores son estables, por lo tanto podemos concluir que el talud conformado con la terrazas propuestas, presenta condiciones estables ya que el factor de seguridad más crítico es de **1.99**, (Ver Figura N°5.19) según los resultados obtenidos mediante el programa.

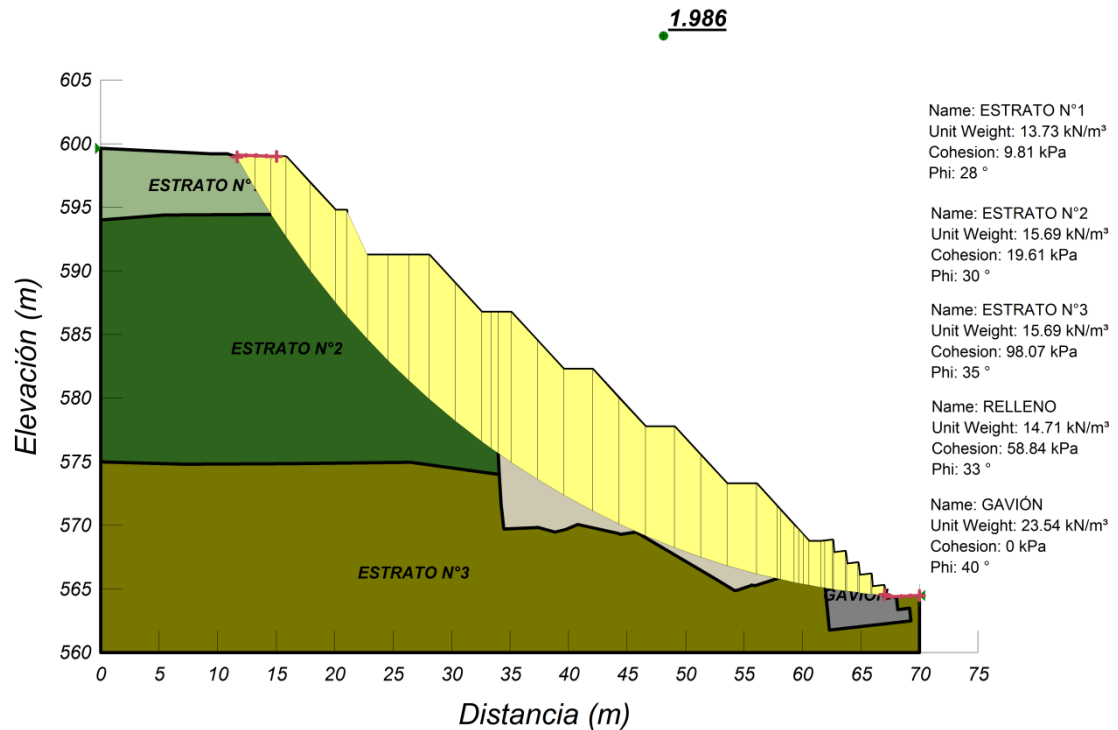


FIGURA N°5.19: Resultados obtenidos del análisis estático del talud conformado, donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **Análisis de Estabilidad Seudoestático.**

En la Figura N°5.20 se presentan los resultados obtenidos en dicho análisis donde se puede observar que el valor de seguridad más crítico es de **1.42**.

Según la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, en condiciones seudoestáticas los valores de seguridad deben ser mayores que 1.1, por lo tanto el talud conformado en condiciones dinámicas es estable.

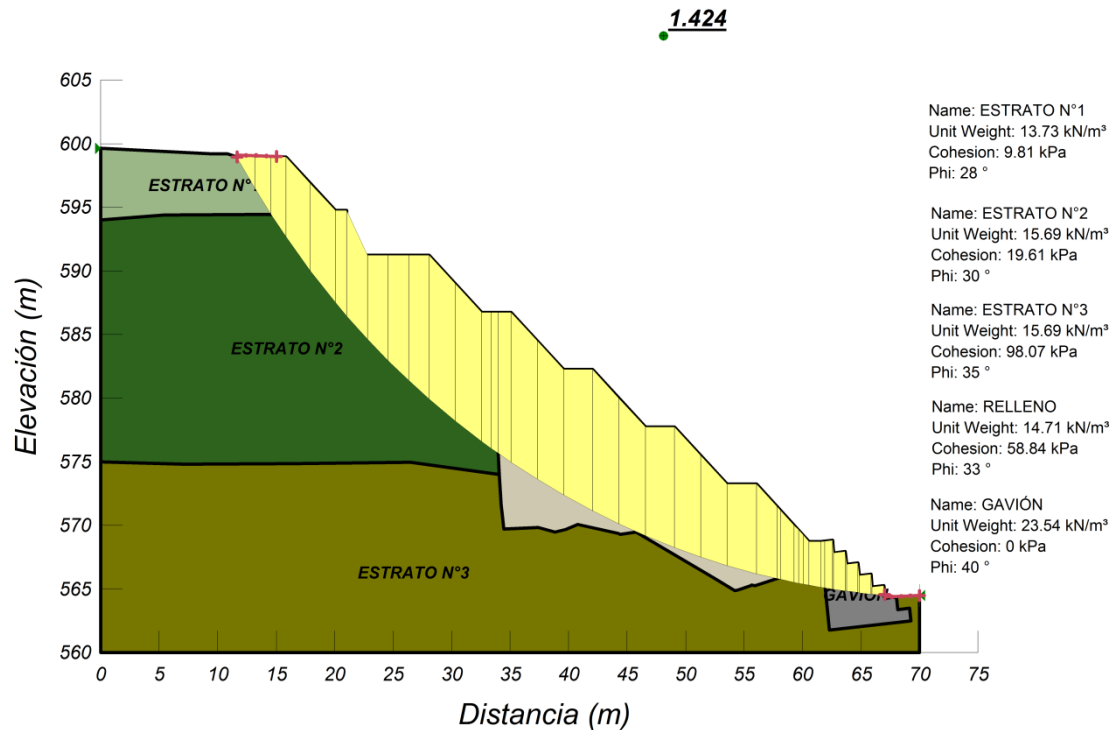


FIGURA N°5.20: Resultados obtenidos del análisis seudoestático del talud conformado, donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **MODELACIÓN DEL TALUD CONFORMADO CON MATERIAL DE RELLENO.**

Se ha evaluado la estabilidad del talud de relleno, considerando que es un punto crítico, ya que en base a los resultados obtenidos los materiales que conforman los taludes presentan estabilidad mecánica, no obstante el nuevo material de relleno debe satisfacer y cumplir con los factores de seguridad requeridos.

- **Análisis de Estabilidad Estático y Seudo- Estático.**

Los resultados obtenidos del análisis de estabilidad para los taludes de relleno, demuestran que se cuenta con las condiciones de estabilidad necesarias tanto en estado estático como seudoestático, los resultados de factores de seguridad obtenidos son de **2.85** y **2.09** respectivamente, (Ver Figuras N°5.21 y N°5.22) dichos valores

satisfacen los requeridos por la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”.

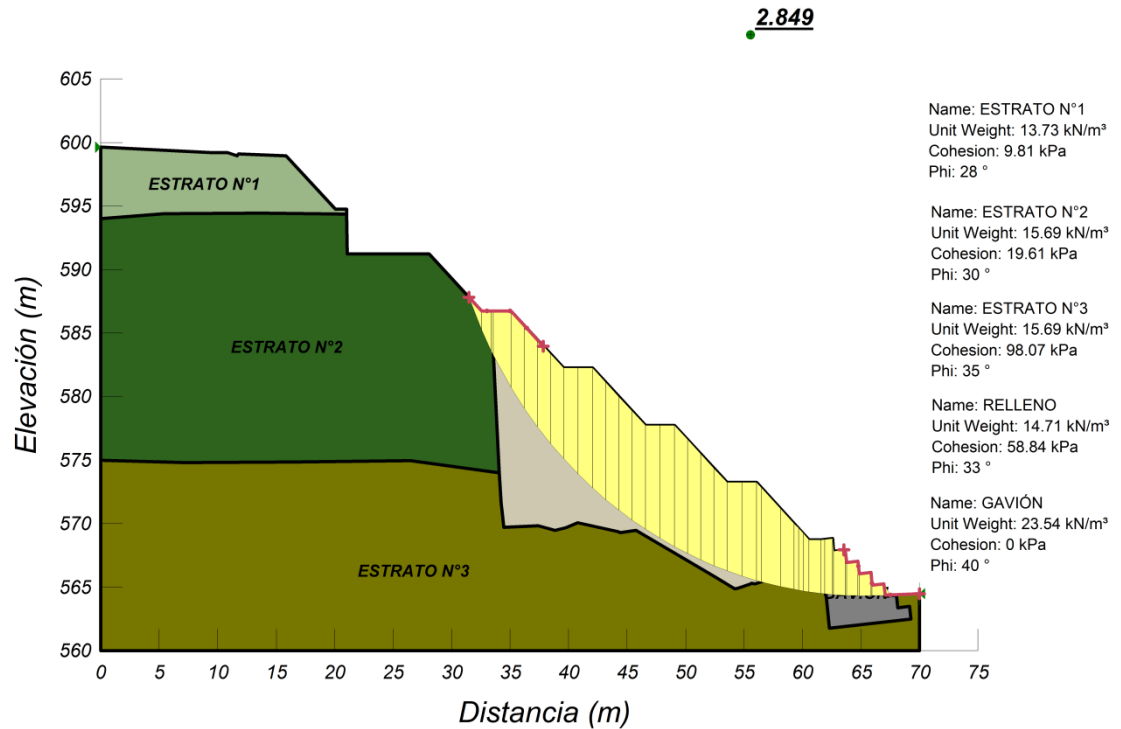


FIGURA N°5.21: Resultados obtenidos del análisis estático del talud conformado, (Talud de Relleno) donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **MODELACIÓN DEL TALUD CONFORMADO (FALLAS PARCIALES)**

Además se ha evaluado el talud conformado considerando fallas parciales de terraza a terraza, de arriba hacia abajo. Tal como se muestra en la Figura N°5.23.

2.060

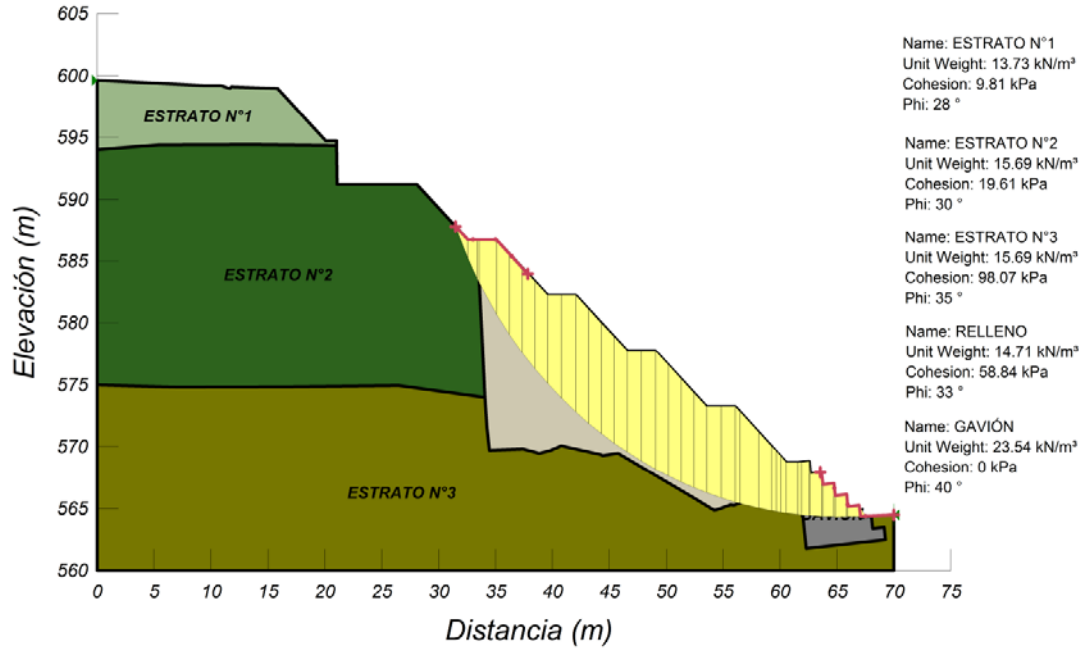


FIGURA N°5.22: Resultados obtenidos del análisis pseudoestático del talud conformado, (Talud de Relleno) donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

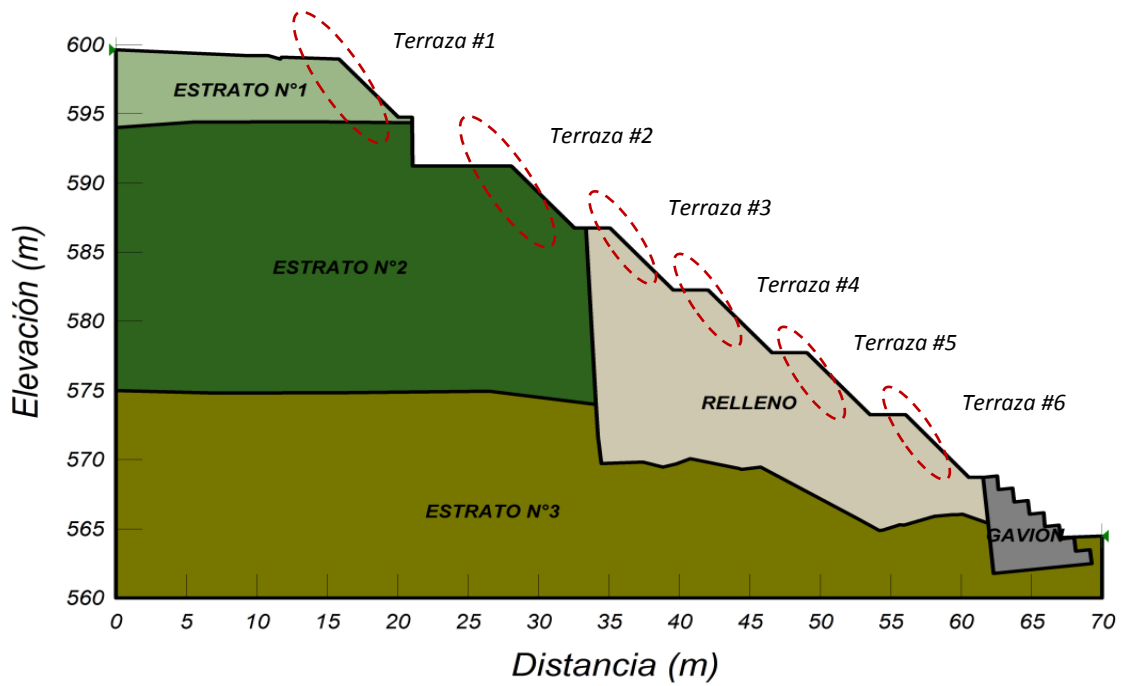


FIGURA N°5.23: Distribución de las terrazas parcial calcular el análisis parcialmente terraza por terraza.

TERRAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	
	ESTÁTICO	SEUDOESTÁTICO
Terraza #1	1.85	1.42
Terraza #2	1.99	1.42
Terraza #3	2.10	1.50
Terraza #4	2.08	1.49
Terraza #5	2.01	1.44
Terraza #6	1.91	1.37

TABLA N°5.13: Propiedades mecánicas de los materiales para la conformación de taludes.

- **MODELACIÓN DE LOS TALUDES TRANSVERSALES**

Además de los análisis de estabilidad para el perfil longitudinal de la Cárcava, se evaluó el comportamiento que presentan los taludes transversales a la Cárcava, tomando como ejemplo la sección con los taludes de alturas más desfavorables.

Se verificó la estabilidad de los taludes en condiciones estáticas y seudoestáticas, donde se obtuvo un factor de seguridad de 1.49 para condiciones estáticas, superando el valor límite de 1.40 requerida por la “*Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes*” y para condiciones seudoestáticas un factor de 1.17 superior al valor de 1.10 que pide la norma técnica (Ver Figuras N°5.24 y N°5.25, Anexo N°8, Planos N°5.1.3, N°5.1.4 y N°5.1.5)

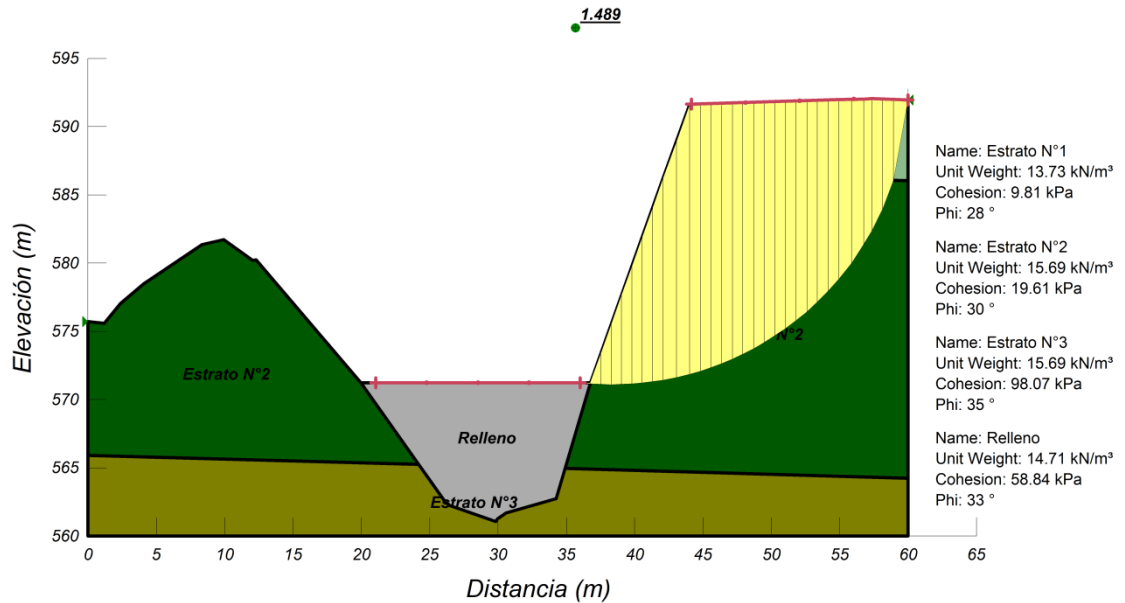


FIGURA N°5.24: Resultados obtenidos del análisis estático en sección transversal de Cárcava (talud conformado y relleno al centro) donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

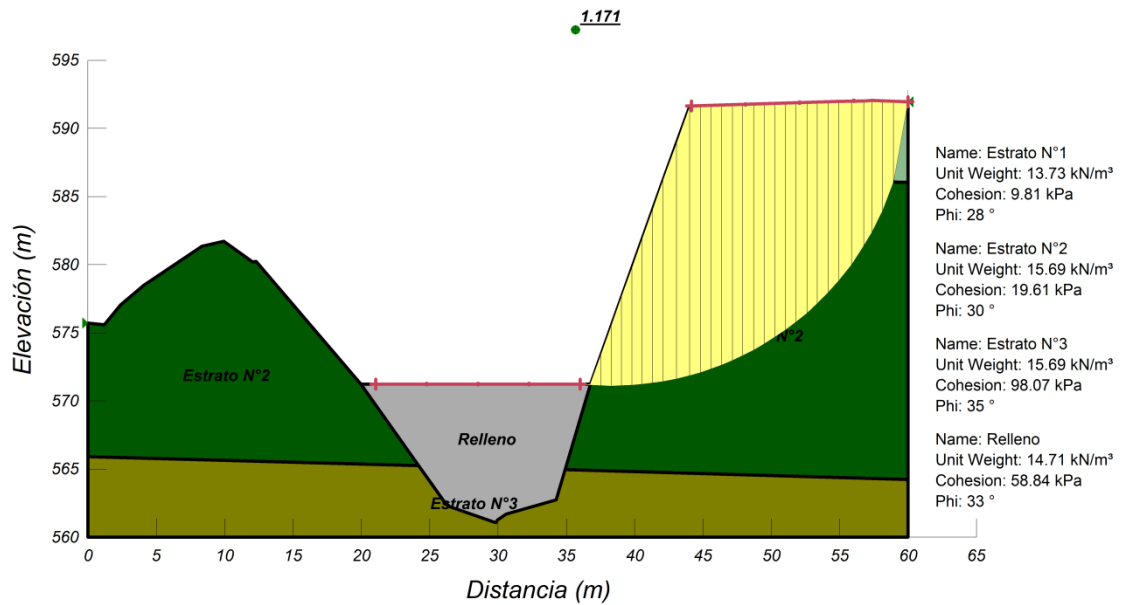


FIGURA N°5.25: Resultados obtenidos del análisis seudoestático en sección transversal de Cárcava (talud conformado y relleno al centro) donde se puede apreciar la superficie de falla y el factor de seguridad más crítico.

- **CONCLUSIONES**

Según los resultados obtenidos mediante el programa Geo Slope/2007, el talud natural como los taludes conformados, presentan estabilidad tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, ya que los valores de Factor de Seguridad alcanzados son mayores que los mínimos establecidos por la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”. Los taludes de diseño se analizaron en condiciones no saturadas, considerando obras para la protección superficial y de evacuación de aguas de escorrentía para la protección de los taludes contra la infiltración del agua, con el fin de evitar que no cambien estas condiciones y se mantengan los taludes estables.

Los resultados de factor de seguridad obtenido se encuentran en rangos de **1.49 a 2.85** para condiciones estáticas y de **1.17 a 2.06** para condiciones pseudoestáticas, en algunos casos se encuentran sobrestimados, es decir pudieran proyectarse taludes con pendientes mayores conservando condiciones de estabilidad, sin embargo en la Propuesta de Alternativa N°1, los taludes serán de 45° de inclinación tal como se han planteado, ya que estos, además de cumplir con los requerimientos de estabilidad, se encuentran en armonía con los demás elementos que conforman la solución.

Además, estudios realizados a este tipo de material geológico recomiendan el diseño de conformación de taludes con pendiente de 45° – 55°, ya que facilitan las labores de mantenimiento y disminuyen las posibilidades de derrumbes. Estos taludes deben acompañarse con un sistema de drenaje que garantice evacuar el agua de forma segura, y debe protegerse la superficie de ellos para evitar que se produzca erosión.

Se recomienda que la unión del suelo natural y el relleno sea discontinua, formando gradas anchas semi-horizontales (Ver Figura N°5.26) y de esta manera impedir que se forme una superficie de falla.

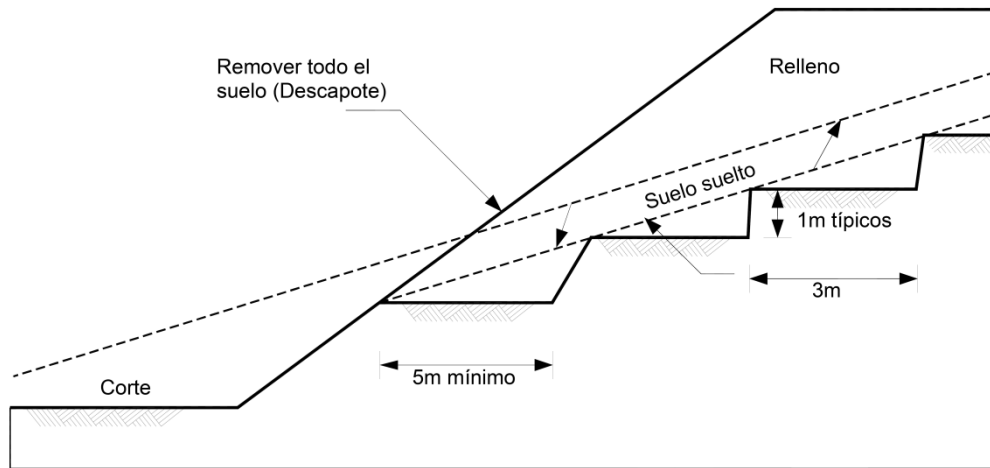


FIGURA N°5.26: Preparación del terreno del talud previamente a la colocación de rellenos.
FUENTE: Deslizamientos, Técnicas de Remediación, Jaime Suárez.

5.5.1.2 PROTECCIÓN SUPERFICIAL EN TALUDES

Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, son utilizadas para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad ayudando a prolongar la vida útil de las obras. Estas estructuras son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

En la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, se ha propuesto la colocación de las siguientes técnicas de protección de la superficie:

- Revegetación de los taludes proyectados sobre la Cárcava.
- Concreto lanzado sobre áreas donde se quiere evitar la infiltración de agua.

- **Revegetación de Taludes**

La vegetación es un elemento natural que beneficia la estabilidad de los taludes, pues con una correcta colocación, un buen cuidado y mantenimiento, evita el avance de la erosión, además genera un espacio verde y agradable a la vista. Según investigaciones realizadas, las condiciones óptimas de pendiente para el adecuado establecimiento y desarrollo de la vegetación son de un máximo de 50° sexagesimales según Moder (1983a).

Sobre los taludes conformados se proyecta la siembra de zacate del tipo barrenillo y vetiver, (Ver Planos N°5.1.1 y N°5.1.7 en Anexo N°8), los cuales tienen muy buena adaptación en taludes, debido a sus fuertes raíces que crecen verticalmente alcanzando profundidades de hasta 5 m, además se adapta a condiciones xerófitas (ambiente seco). Estos zacates generan barreras vivas que impiden el transporte de partículas de suelo hacia la parte baja; las raíces del zacate vetiver son profundas, lo que hace que haya un mayor arraigo con el suelo del talud, contrarrestando el proceso erosivo desde el arranque y transporte de las partículas de suelo. (Ver Figura N°5.27).

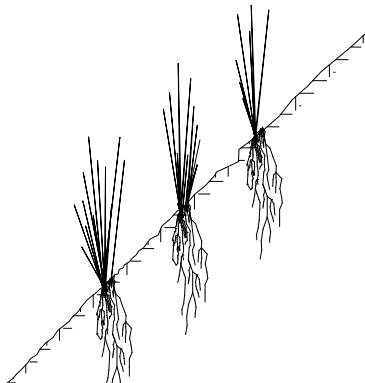


FIGURA N°5.27: Zacate Vetiver, sobre talud con pendiente 1:1 ó 45°.

Los materiales que se utilizarán deben cumplir con los requerimientos expuestos a continuación:

- **Zacate Barrenillo y Vetiver:** Guías y tallos vigorosos, estos deben tener no más de tres días de haber sido cortados.
- **Fertilización:** Sulfato de amonio aplicado en método seco, debe utilizarse a una razón de cuatro onzas por metro cuadrado de engramado. Los fertilizantes se encargan de entregar y devolver a la tierra los nutrientes necesarios para el adecuado crecimiento del zacate.
- **Agua:** El agua que se utilizará para el riego debe ser limpia y libre de aceites, químicos e impurezas que afecten el arraigo y desarrollo del zacate.

Las actividades que se deben realizar incluyen la preparación de la superficie, el riego, la fertilización y protección posterior a su siembra, para asegurar su enraizamiento y desarrollo.

El Zacate Barrenillo debe colocarse en filas perpendiculares a la dirección de la escorrentía, en el mismo sentido, el Zacate Vetiver debe sembrarse en filas con una separación de 1.00 m y con una separación de 10 cm entre cada haz, tal como se detalla en la Figura N°5.28. Estas dimensiones son las recomendadas para garantizar que la vegetación crezca de manera uniforme y densamente en el área que se necesite proteger y evitar que la superficie del suelo se vea afectada por procesos erosivos debido al paso del flujo hídrico.

- **Concreto Lanzado**

El concreto lanzado brinda protección al suelo contra la erosión superficial y la infiltración del agua, este se propone como obra complementaria en aquellos sitios donde sea necesario reforzar para asegurar que las condiciones de diseño prevalezcan con el tiempo, y que la estabilidad de toda la estructura no se vea comprometida, estos son:

- Bermas intermedias.
- Taludes ubicados sobre la tubería y corona de la Cárcava.

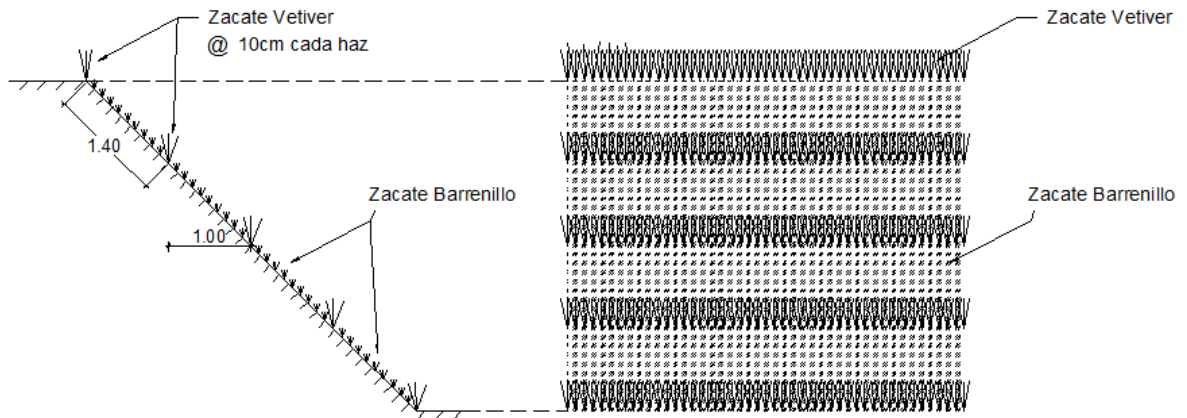


FIGURA N°5.28: Distribución del zacate vetiver y zacate barrenillo en los taludes.

- **En Bermas:**

En las bermas intermedias, se colocará sobre la superficie del suelo una capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor, en su interior se coloca una electromalla de acero, la cual le dará soporte a la capa de concreto por esfuerzos por temperatura; el concreto se colocará desde la unión con la canaleta media caña hasta el borde donde inicia la pendiente del talud, esta obra tiene como fin proteger la berma de la erosión y evitar que la infiltración de agua llegue a saturar el suelo, creando esfuerzos mayores sobre el talud.

- **En Taludes:**

En los taludes sobre la corona de la Cárcava, se colocará concreto lanzado con una capa de 10 cm de espesor, una electromalla de acero y varillas acero para anclar el concreto al suelo, el concreto se coloca sobre los taludes con el propósito de proteger la

superficie y las condiciones del suelo de la corona, siendo este sitio un punto crítico que necesita mayor protección.

5.5.1.3 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS

Uno de los objetivos más importantes dentro de la búsqueda de soluciones a un problema de Cárcava, es encontrar una estructura u obra civil que pueda transportar las aguas generalmente de escorrentía superficial (aguas lluvias) desde el colector hasta su final descarga en un cuerpo hídrico (ríos, quebradas, vaguadas, entre otros) en forma adecuada, que garantice la menor afectación a su entorno, (como es el caso de taludes y laderas) y simultáneamente drene con eficiencia los taludes o laderas de su entorno.

Las estructuras de descarga deben reunir características como:

- Presentar alta resistencia al flujo hídrico al que estarán expuestas.
- Servir de disipadores de energía del flujo.
- Transportar las aguas de escorrentía en forma controlada, desde el colector hasta su descarga en un cuerpo hídrico.
- Resistir el intemperismo y condiciones naturales adversas (sismos, huracanes o tormentas con intensidades extraordinarias).
- Tener las características que se necesitan según los requerimientos del diseño.

Es por ello que se ha analizado dentro de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, la utilización de gradas disipadoras de energía conocidas como derramadero, la cual es una solución ampliamente utilizada en El Salvador, pues brinda una respuesta factible al manejo y control del transporte de escorrentía desde colectores hasta sus descargas, sirve como disipador de energía por sus múltiples caídas, se construye de materiales de fácil manejo y acarreo, (arena, piedra, agua, cemento), pudiendo ser de mampostería

de piedra, concreto armado, gavión recubierto con una capa de mortero o mezcla de cemento y arena, entre otros. Las dimensiones del derramadero de mampostería de piedra propuesto logran satisfacer los requerimientos hidráulicos de la obra (Ver Figura N°5.29), estas son: (Ver en Anexo N°8, Planos N°5.1.1 y N°5.1.6).

- Ancho interno de 1.60 m.
- Caídas de 1.50 m de altura.
- Longitud de grada de 1.50 m, excepto en la primera grada y en bermas donde se cuenta con una longitud de 4.00 m.
- Paredes de 1.50 m de alto y 0.30 m de espesor de mampostería de piedra.

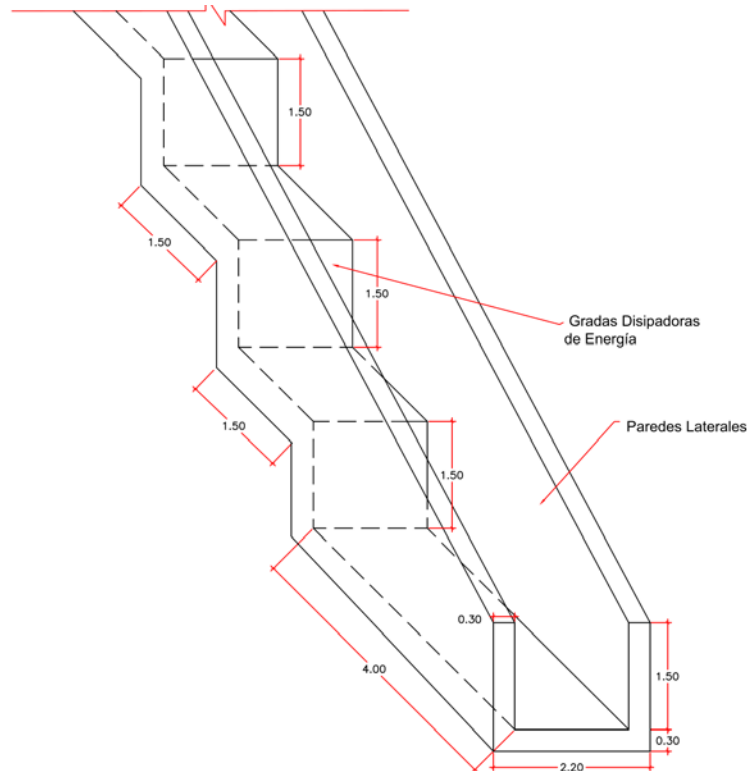


FIGURA N°5.29: Sección de la obra hidráulica (derramadero) con sus dimensiones, sin escala.

Para el diseño hidráulico del canal abierto y del derramadero se tomó como dato inicial el caudal obtenido del estudio hidrológico de la sub-cuenca 1 en la descarga del colector de la urbanización, la tubería descarga un caudal de $3.01 \text{ m}^3/\text{s}$ al canal abierto, la tubería al final posee un cabezal de mampostería de piedra de sección rectangular (Ver Figura N°5.30), el cual le brinda estabilidad, protección al talud y ayuda en la transición hacia el canal abierto de mampostería de piedra.

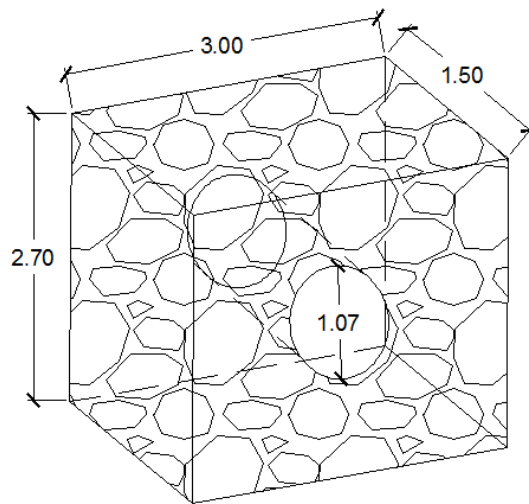


FIGURA N°5.30: Detalle del cabezal de descarga al final del colector.

El derramadero se diseñó utilizando las funciones del número de caída obtenidas del libro: *Hidráulica de Canales Abiertos*, Ven Te Chow, editorial Diana, México D.F. 1982, salto hidráulico y su uso como dissipador de energía. pág. 395 (ver Tabla N°5.14),

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$q \text{ (m}^3/\text{s/m)}$	$h \text{ (m)}$	$L_d \text{ (m)}$	$Y_p \text{ (m)}$	$Y_2 \text{ (m)}$	$Y_1 \text{ (m)}$
3.01	1.88	1.50	3.53	0.92	1.36	0.65

TABLA N°5.14: Cálculo de longitud de desarrollo por caída en derramadero.

Donde:

$Q = 3.01\text{m}^3/\text{s}$: Caudal máximo esperado para la tubería de 42", pendiente del 1%.

$q = 1.88\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$: Caudal por unidad de ancho.

$h = 1.50\text{m}$: Altura de caída por grada en derramadero.

$L_d = 3.53\text{m}$: Longitud de la caída. Es decir la distancia desde el muro de la caída a la posición de la profundidad Y_1 .

$Y_p = 0.92\text{m}$: Es la profundidad del estanque bajo la napa o caída.

$Y_2 = 1.36\text{m}$: Es la profundidad seciente a Y_1 aguas abajo.

$Y_1 = 0.65\text{m}$: Es la profundidad al pie de la napa o el inicio del resalto hidráulico.

En la Figura N°5.31 se muestran las ubicaciones de cada una de las variables que intervienen en el cálculo de caída libre en derramaderos.

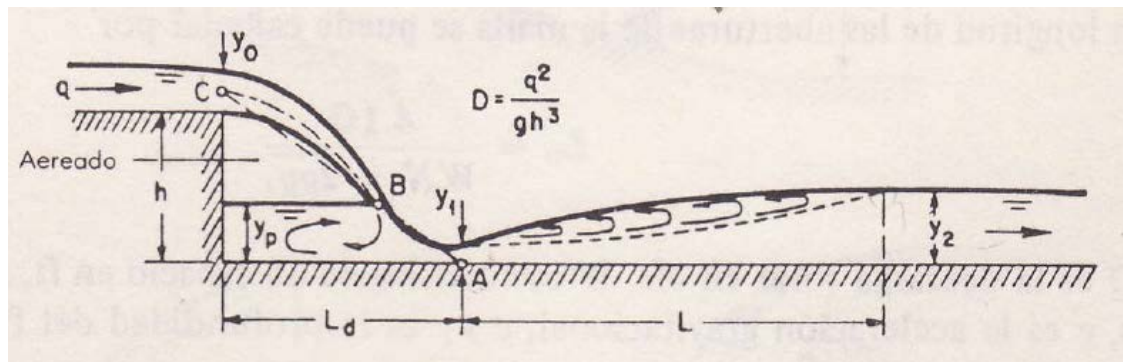


FIGURA N°5.31: Geometría del flujo en un vertedero de caída recta.

FUENTE: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, editorial Diana, México D.F. 1982, salto hidráulico y su uso como dissipador de energía. pág. 395.

La geometría del flujo en caída recta, se pueden describir como funciones del número de caída, el cual se define como:

$$D = \frac{q^2}{gh^3}$$

q = Descarga por unidad de ancho de la cresta de desborde

g = Aceleración de la gravedad.

h = Altura de la caída.

Las funciones son:

$$\frac{L_d}{h} = 4.30D^{0.27}$$

$$\frac{y_p}{h} = 1.00D^{0.22}$$

$$\frac{y_1}{h} = 0.54D^{0.425}$$

$$\frac{y_2}{h} = 1.66D^{0.27}$$

Del cálculo anterior se concluye que la longitud necesaria después de la primer caída para garantizar una disminución en la energía del agua, es como mínimo 3.50 m (L_d) por lo que se asigna una longitud de 4.00 m.

La estructura del derramadero se proyecta sobre el talud conformado generalmente en corte, para garantizar un mejor apoyo e integración (amarre) con el talud, además se previene la socavación en la fundación de la estructura; es por ello que la estructura del derramadero para la solución N°1, se proyectó con una altura de desplante de 1.00 m dentro del talud.

El derramadero finaliza sobre un muro de gaviones de 7.00 m de altura total, el cual sirve como cabezal de descarga hacia la quebrada.

5.5.1.4 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS)

Para el drenaje secundario se proyectan canaletas trapezoidales en la corona superior del talud y canaletas de media caña de 0.30 m de diámetro, situadas en la parte interior de cada berma, para garantizar el drenaje de los taludes, ambas canaletas de concreto reforzado, la pendiente longitudinal es de 3%, y están dirigidas para que drenen hacia el derramadero principal (Ver en Anexo N°8, Planos N°5.1.1 y N°5.1.6).

El uso de estas obras se realiza con el objetivo de evitar que escurran estas aguas superficiales sobre los taludes, además evitar la infiltración del agua para que el área donde se han proyectado las obras de mitigación no se sature, evitando generar erosión al talud nuevamente. Además se proyecta el uso de diques de suelo compactado en la corona del talud superior para evitar que el agua escurra hacia los taludes, Ver Figura N°5.32.

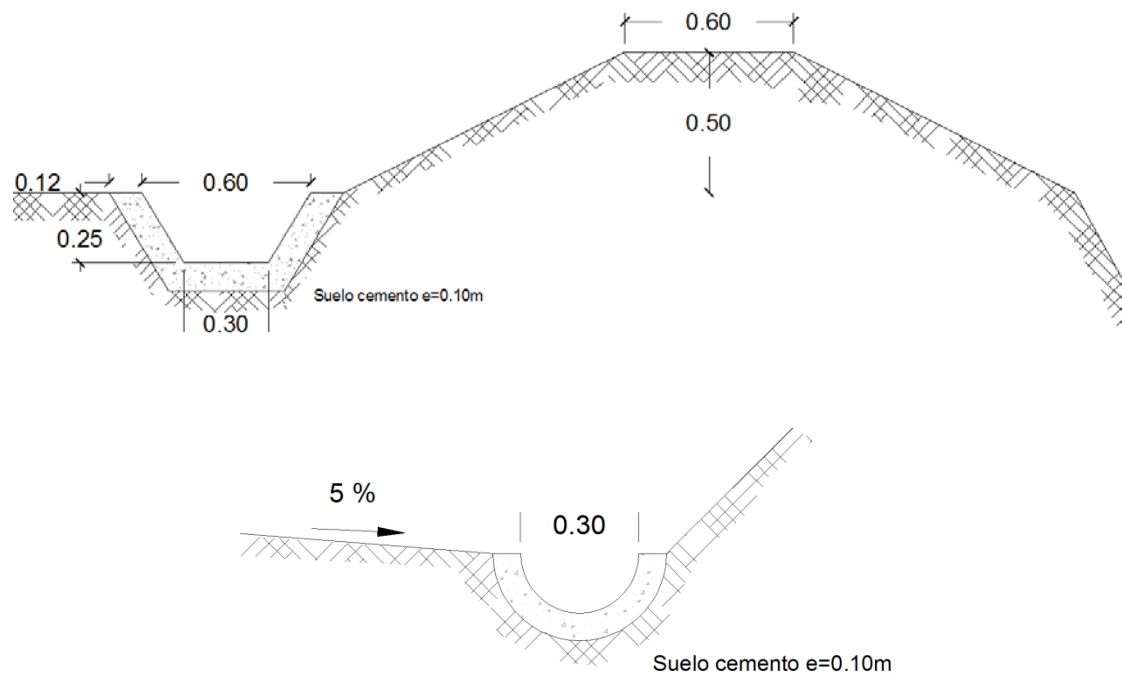


FIGURA N°5.32: Canaletas en forma trapezoidal y en media caña, colocadas en la corona y en las bermas de taludes, respectivamente.

- **Canaleta Trapezoidal**

Asimismo se analizó la canaleta de sección trapezoidal, donde se obtuvo a través de la fórmula de Manning y Continuidad, que la canaleta de sección trapezoidal de ancho superior de 0.60 m y ancho inferior de 0.30 m, tiene una capacidad hidráulica de 0.3045 m³/s:

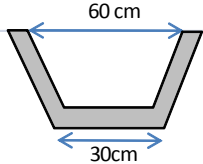
TRAMO	S (%)	Ancho (cm)	N	A _H (m ²)	P _M (m)	R _H (m)	V (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA (m ³ /s)	SECCIÓN
Sección Trapezoidal	3.00%	60 superior 30 inferior	0.016	0.11	0.90	0.13	2.71	0.3045	

TABLA N°5.15: Cálculo para revisión de capacidad hidráulica de la canaleta trapezoidal.

De acuerdo a los cálculos obtenidos en la Tabla N°5.15, utilizando la fórmula racional para determinar el caudal hidrológico para cuencas con áreas menores de 1.50 km², se tiene que para un talud de área de 7.00 m de ancho x 14.00 m de largo, el caudal de escorrentía superficial generada es de 0.00321 m³/s, como datos previos de entrada se tienen:

- Intensidad de lluvia de 4.37 mm/min ó 262.2 mm/hora para una lluvia de 5 minutos y período de retorno de 50 años. Datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Ilopango.
 - Coeficiente de escorrentía de 0.45 para el talud vegetado proyectado.
- Cálculo de Caudal:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

Q = Caudal Hidrológico, en m^3/s
 C = Coeficiente de escorrentía, adimensional
 I = Intensidad de la lluvia, en mm/hora
 A = Área de la cuenca, en km^2

Datos:

$C = 0.45$
 $I = 262.20 \text{ mm/hora } (*)$
 $A = 0.000098 \text{ km}^2$

* Para el cálculo del caudal hidrológico se utilizará intensidades para 5 minutos para un período de retorno de 50 años.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$
$$Q = 0.278 * 0.45 * 262.20 * 0.000098$$
$$Q = 0.00321 \frac{m^3}{s}$$

Comparando ambos caudales, es decir, los caudales hidráulico e hidrológico, se tiene que el caudal hidráulico de $0.3045m^3/s$ sobrepasa ampliamente al caudal hidrológico de $0.0321m^3/s$ por lo tanto la sección de la canaleta tiene la capacidad para transportar el caudal hidrológico esperado.

- **Canaleta de media caña**

Se verificaron las secciones hidráulicas de las canaletas para comprobar su capacidad para transportar los caudales requeridos. En donde se obtuvo a través de la fórmula de Manning y Continuidad que la sección de la canaleta de media caña de diámetro 0.30m, tiene una capacidad hidráulica de $0.068 m^3/s$ (Ver Tabla N°5.16):

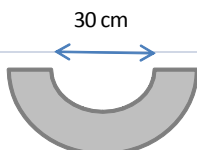
TRAMO	S (%)	Ø (cm)	N	A _H (m ²)	P _M (m)	R _H (m)	V (m/s)	CAPACIDAD HIDRÁULICA (m ³ /s)	SECCIÓN
Sección Semicircular	3.00%	30	0.016	0.04	0.47	0.08	1.93	0.0680	

TABLA N°5.16: Cálculo para revisión de capacidad hidráulica de la canaleta media caña Ø=0.30m

Además se verificó el caudal hidrológico generado sobre los taludes propuestos, donde utilizando la fórmula racional para determinar el caudal hidrológico para cuencas con áreas menores de 1.50 km², se tiene que para un talud de área de 30.00 m de ancho x 30.00 m de largo, el caudal de escorrentía superficial generada es de 0.0295 m³/s, como datos previos de entrada se tienen:

- Intensidad de lluvia de 4.37 mm/min ó 262.2 mm/hora para una lluvia de 5 minutos y período de retorno de 50 años. Datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Ilopango.
- Coeficiente de escorrentía de 0.45 para el talud vegetado proyectado.

Cálculo de Caudal:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

- Q** = Caudal hidrológico, en m³/s
- C** = Coeficiente de escorrentía, adimensional
- I** = Intensidad de la lluvia, en mm/hora
- A** = Área de la cuenca, en km²

Datos:

$$C = 0.45$$

$$I = 262.20\text{mm/hora (*)}$$

$$A = 0.0009 \text{ km}^2$$

* Para el cálculo del caudal hidrológico se utilizará intensidades para 5 minutos para un período de retorno de 50 años.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

$$Q = 0.278 * 0.45 * 262.20 * 0.0009$$

$$Q = 0.0295 \text{ m}^3/\text{s}$$

Comparando ambos caudales, es decir, los caudales hidráulico e hidrológico, se tiene que el caudal hidráulico de $0.068 \text{ m}^3/\text{s}$ sobrepasa ampliamente al caudal hidrológico de $0.0295 \text{ m}^3/\text{s}$ por lo tanto la sección de la canaleta tiene la capacidad para transportar el caudal hidrológico esperado.

- **Drenaje Subterráneo**

También es necesario proyectar drenajes dentro del talud conformado (drenaje subterráneo), esto por las discontinuidades en los materiales que se tienen en el talud y para evitar que exista concentración de agua que sature los materiales, estos drenajes se ubican en los límites de cada estrato y donde lo amerite según el diseño, el objetivo de los drenajes es el de evacuar de forma eficiente el agua subterránea que está circulando dentro del talud y que pueda poner en riesgo la estabilidad del mismo. Ver Figura N°5.33 y en Anexo N°8, Planos N°5.1.1 y N°5.1.6.

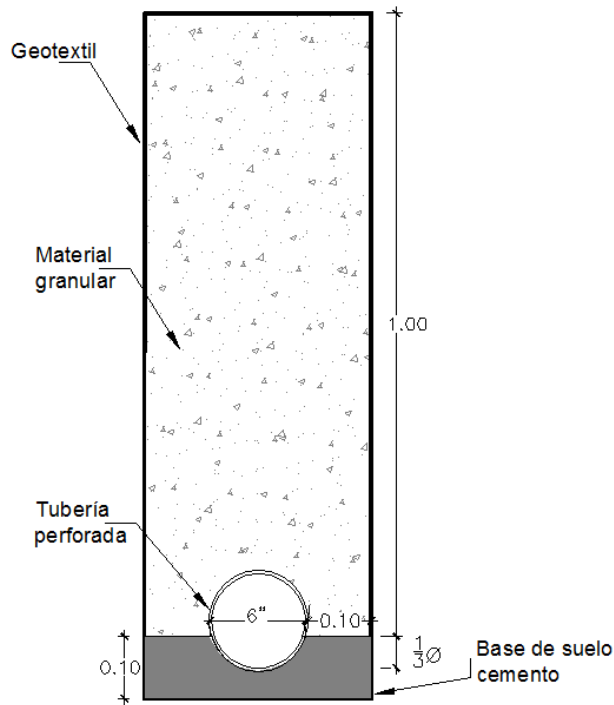


FIGURA N°5.33: Detalle de drenaje subterráneo conocido como dren francés.

5.5.1.5 OBRAS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención construidos con gaviones siguen el concepto de muros de gravedad, y se componen de bloques formados por enrocamiento envueltos con una red especialmente confeccionada para este fin; son superpuestos formando una estructura de sostenimiento (Ver Figura N°5.34 y Anexo N°8, Planos N°5.1.1, N°5.1.2 y N°5.1.7).

El material sostenido está compuesto normalmente por un relleno que es colocado posteriormente a la construcción del muro entre éste y el macizo original, estos conjuntamente con eventuales sobrecargas que vengán a ser aplicadas sobre el macizo, generan las cargas que actúan sobre el muro. Por lo tanto, este debe ser dimensionado

de tal forma que soporte estas cargas sin que haya una rotura o una deformación excesiva de su estructura, de su fundación o del resto del macizo de tierra.

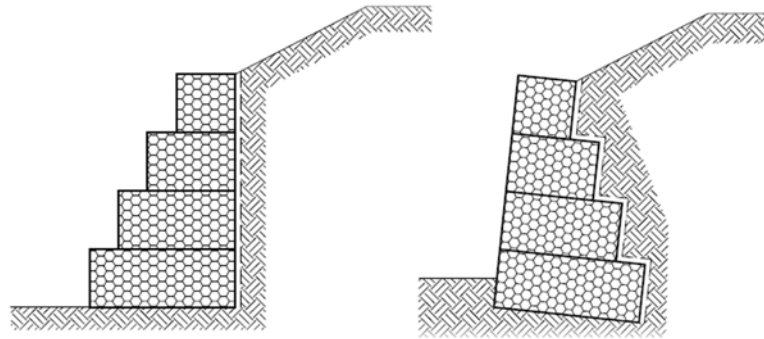


FIGURA N°5.34: Muro de Gaviones con escalones externos y con escalones internos.
FUENTE: Maccaferri Obras de Contención.

En la propuesta de solución N°1 se plantea la proyección de un muro gavión con el objetivo de ofrecer estabilidad a la conformación de los taludes de relleno, además este sirve para aislar la quebrada con los demás elementos de solución y restablece los márgenes de la quebrada aledaña. El dimensionamiento de una estructura de este tipo, consiste en determinar las cargas (empujes) que actúan sobre la estructura de sostenimiento y luego verificar la posibilidad de ocurrencia de diversos tipos de rotura a las que el muro está sujeto.

Para el diseño de los muros gaviones, se utilizó el software denominado GawacWin® de la firma Maccaferri, el cual fue desarrollado para proveer a los ingenieros, proyectistas y constructores una manera rápida y confiable de ejecutar, los análisis necesarios y la correcta verificación de los proyectos de muros de contención en gaviones. Este programa es capaz de verificar una gran variedad de situaciones diferentes, que pueden ocurrir normalmente en proyectos de este tipo, y también

pretende limitar a un mínimo las situaciones que necesitan de análisis especializados y comentarios.

Para facilitar su utilización y agilizar los análisis, el programa presenta una interface amigable con el usuario, implementada a través de rutinas gráficas, en el ambiente Windows TM, que permiten a este acompañar visualmente el efecto de los datos, a la medida que estos van siendo cargados al programa, y también acompañar el desarrollo de los análisis realizados. En esta interface el problema en estudio está siempre visible en la pantalla a través del diseño de la sección del muro, terraplén y sobrecargas externas. El GawacWin® utiliza en sus análisis los conocidos métodos de Equilibrio Límite (adaptación de las teorías de Coulomb), Rankine, Meyerhof y Bishop (optimizado por el algoritmo SIMPLEX). El programa es la implementación para computadoras de los métodos anteriormente descritos, con base en el informe técnico “análisis e Dimensionamiento de Muros em Gabiões” de autoría del Prof. Dr. Ing. Pérsio Leister de Almeida Barros.

- **Consideraciones de diseño**

Se deben de cumplir con los factores de seguridad mínimos:

- El coeficiente sísmico horizontal k , según especifica la “Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes” en el apartado 5.3.3 será de 0.16 para la zona I y 0.12 para la zona II. Ilopango se encuentra dentro de la zona I, según se muestra en la Figura N°5.35, por lo que su coeficiente sísmico es de 0.16, pero para el diseño se asumirá de 0.2 aumentando el factor de seguridad.

- La combinación de fuerzas y factores de seguridad (**F_s**), se especifican en la “Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes” en el apartado 5.3.11, tal como se detalla en la Tabla N°5.17.



FIGURA N°5.35: Zonificación sísmica para la República de El Salvador, septiembre 1993.
FUENTE: Norma Técnica para Diseño por Sismo.

COMBINACIÓN	FUERZAS	CONDICIÓN	FS
1	F _g	Volteo	1.5
		Deslizamiento	1.5
2	F _g + F _s	Volteo	1.2
		Deslizamiento	1.2

TABLA N°5.17.: Combinación de fuerzas y factor de seguridad.
FUENTE: Norma Técnica para diseño de Cimentaciones y Estabilidad Taludes.

- Para evitar la rotura de la fundación o asentamientos excesivos se debe de cumplir que las presiones aplicadas por la estructura sobre el suelo de fundación sean inferiores a su capacidad de carga.

- Para evitar la rotura global del macizo se debe cumplir con que el factor de seguridad global de 1.1, según “*Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes*” en el apartado 6.3.2, para evitar deslizamiento a lo largo de una superficie de rotura que envuelve a la estructura de contención.
- Para evitar la rotura interna de la estructura se deben de uniformar los gaviones cajas anclándolos unos con otros y así no dar lugar a la rotura de las secciones intermedias entre gaviones, que puede ocurrir tanto por deslizamiento como por exceso de presión normal.
- La altura del muro debe ser mayor al nivel de aguas máximas, establecido en el apartado 5.4.4, Análisis Hidráulico, del presente capítulo.

- ***Cálculo de la estabilidad del muro gavión***

Para el diseño del muro gavión se considerará:

- Roca que cumpla con un peso específico mínimo de 23.54 kN/m³.
- Para cada gavión caja, se le considerará una porosidad de los gaviones de 30%.
- Se considerará geotextil en terraplén, lo cual disminuirá la fricción entre el suelo del terraplén y el muro gavión en un 10 %.
- Se considerará geotextil en la base del muro, reduciendo la fricción entre el suelo de la base y el muro gavión en un 10 %.
- El muro gavión se inclinará 6° con respecto a la vertical y en dirección al terraplén.
- Se utilizarán escalones externos (Ver Figura N°5.36) porque desde el punto de vista estático las estructuras con escalonamiento externo resultan más estables.

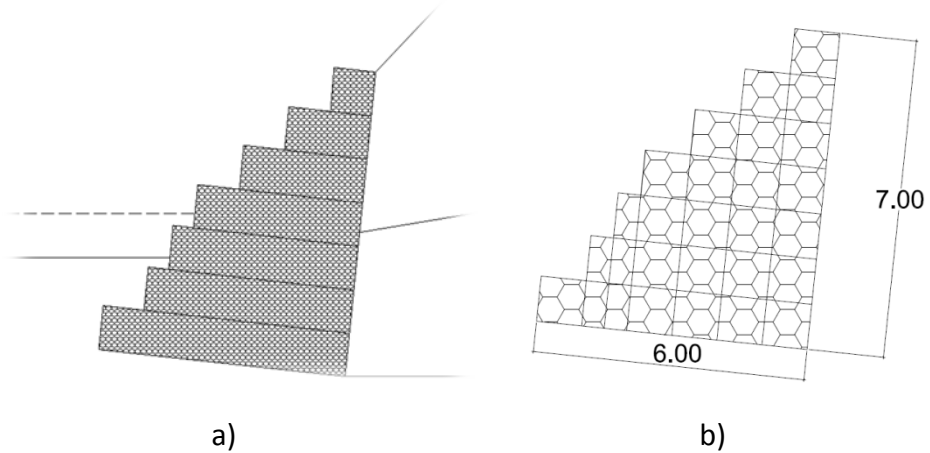


FIGURA N°5.36: Esquema del diseño de muro de gaviones.

Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diversos tipos de rotura. En el caso de muros de contención de gaviones, los tipos principales de rotura que pueden ocurrir están mostrados en la Figura N°5.37.

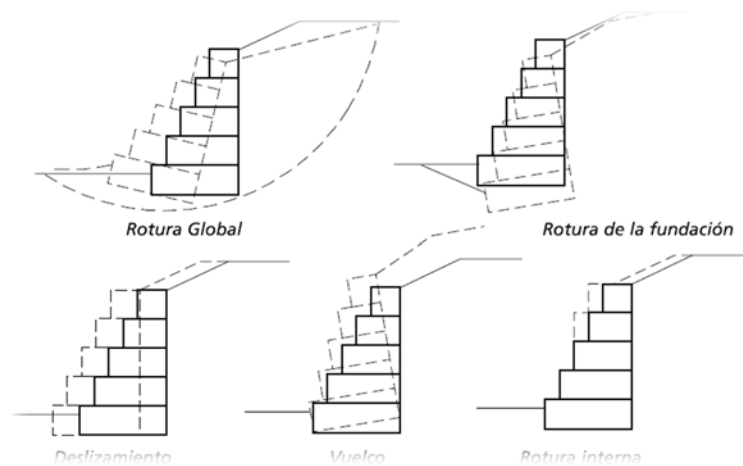


FIGURA N°5.37: Tipos de roturas de muros de gaviones.

FUENTE: Maccaferri Obras de Contención.

1. Rotura Global

En el análisis de estabilidad global se verifica la ruptura a lo largo de una superficie circular en el interior del macizo que contorna el muro de gaviones. Esta ruptura

atraviesa, de esta forma, tanto el suelo a la derecha de la estructura como el suelo de fundación y el macizo a la izquierda del muro. El cálculo del coeficiente de seguridad asociado a la superficie de ruptura es hecho por el Método de Bishop Simplificado. Los resultados del análisis incluyen el coeficiente de seguridad contra ruptura, la posición del centro y el radio del arco que este coeficiente de seguridad se refiere y el número de arcos analizados.

<i>Centro del arco con referencia al eje X</i>	<i>2.83 m</i>
<i>Centro del arco con referencia al eje Y</i>	<i>64.66 m</i>
<i>Radio del Arco</i>	<i>67.74 m</i>
<i>Número de Superficies Analizadas</i>	<i>40</i>
<i>Coefficiente de Seguridad Contra la Ruptura Global</i>	<i>1.55</i>

Coefficiente de Seguridad contra ruptura global = 1.55 > 1.1 ← Ok

2. Deslizamiento

El valor del coeficiente de seguridad contra el deslizamiento es determinado como la relación entre el valor de la resistencia disponible y el valor de la resistencia movilizada contra el deslizamiento. La resistencia disponible es tomada como la suma de las resistencias a lo largo de la base y la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento. La resistencia al deslizamiento es dada por la componente del empuje pasivo.

<i>Empuje Activo</i>	<i>E_a</i>	<i>1123.17 kN/m</i>
<i>Empuje Pasivo</i>	<i>E_p</i>	<i>855.07 kN/m</i>
<i>Factor de Seguridad Contra Deslizamiento</i>	<i>F_d</i>	<i>1.79</i>

Coficiente de Seguridad contra deslizamiento = 1.79 > 1.2 ← Ok

3. Verificación Contra Vuelco

El coeficiente de seguridad contra vuelco es calculado como la relación entre el momento resistente total y el momento total de vuelco. El momento de vuelco es tomado como el momento de la componente horizontal del empuje activo actuante, entretanto que el momento resistente es el tomado como la suma de los momentos del peso propio de la estructura y del empuje pasivo.

- **Momento Activo (Volcador)**

Valor del momento que actúa en contra la estabilidad, tomado con referencia al fulcro de la estructura (ángulo inferior izquierdo de la base del muro).

- **Momento Resistente (Estabilizante)**

Suma de los momentos generado por el empuje pasivo, peso de la estructura y posibles cargas que actúan sobre el muro.

- **Factor de Seguridad**

Valor del coeficiente de seguridad contra el vuelco de la estructura.

<i>Momento Activo</i>	M_a	2637.72 kN/m
<i>Momento Resistente</i>	M_p	5266.13 kN/m
<i>Factor de Seguridad Contra Vuelco</i>	F_v	2.00

$$F_v = \frac{M_p}{M_a} > 1.2 \leftarrow Ok$$

$$F_v = \frac{5266.13}{2637.72}$$

Coficiente de Seguridad contra vuelco = 2.00 > 1.2 ← Ok

4. Presiones en la Fundación

El valor de las presiones actuantes en la fundación debe ser comparado con la máxima presión admisible.

- **Tensión izquierdo – Tensión en el extremo externo.**

El valor de la tensión normal actuando en el límite externo (izquierdo) de la base de la estructura.

- **Lado derecho – Tensión en el extremo interno.**

El valor de la tensión normal actuando en el límite interno (derecho) de la base de la estructura.

- **Máxima presión aceptable.**

La máxima presión normal que el suelo de fundación puede soportar.

<i>Excentricidad</i>	<i>e</i>	<i>0.41 m</i>
<i>Tensión normal a la izquierda</i>	<i>q₁</i>	<i>241.80 kN/m²</i>
<i>Tensión normal a la derecha</i>	<i>q₂</i>	<i>98.13 kN/m²</i>
<i>Máxima Tensión Aceptable</i>	<i>q_{max}</i>	<i>245 kN/m²</i>

Verificación del tercio medio:

$$\frac{L}{6} = \frac{6}{6} = 1.00 \text{ m} \quad \leftarrow \text{Tercio medio}$$

$$e = 0.41 < \frac{L}{6} = 1.00 \quad \leftarrow \text{Ok (Cae dentro)}$$

Entonces la resultante cae dentro del tercio medio de la base del muro, por tanto la distribución de esfuerzos en el suelo es como se muestra en la Figura N°5.38:

$$q_1 = 241.80 \frac{kN}{m^2} < 245 \frac{kN}{m^2} \leftarrow Ok$$

$$q_2 = 98.13 \frac{kN}{m^2} < 245 \frac{kN}{m^2} \leftarrow Ok$$

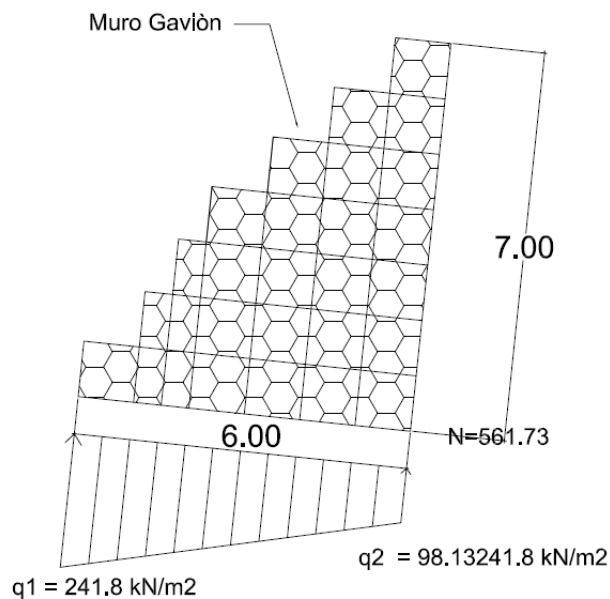


FIGURA N°5.38: Distribución de presiones en la fundación del muro gavión.

Como obra complementaria se proyectará un colchón reno con un espesor de 30 cm, en la base del muro gavión para proteger las cimentaciones de la estructura a procesos de socavación. Las dimensiones estándares de dicho elemento oscilan entre:

- Largo: 3.00 m – 6 m
- Ancho: 2.00 m
- Altura: 0.17 m, 0.23 m, y 0.30 m

Para nuestro caso, se proyectaron colchones reños modulados con dimensiones de 6 m de largo, 2 m de ancho y 0.30 m de alto, ubicados en fondo del cauce para evitar socavación en la fundación del muro propuesto, tal como se muestra en la Figura N°5.39.

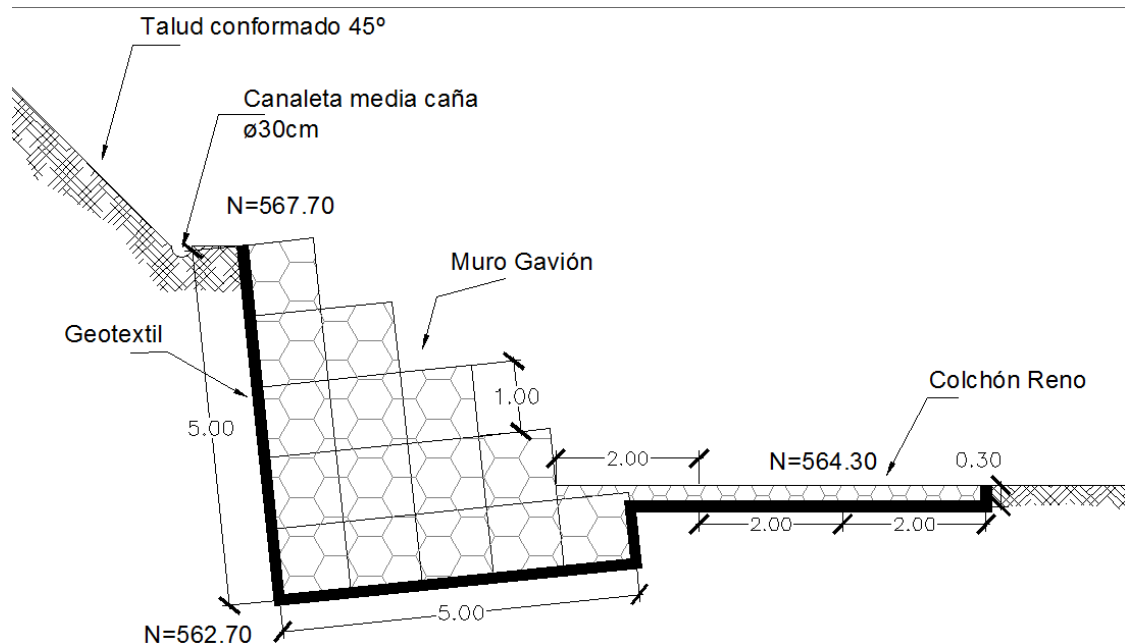


FIGURA N°5.39: Detalle del muro gavión de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, sin escala.

5.5.1.6 OBRAS COMPLEMENTARIAS

- **Cerco Perimetral**

Con el objetivo de aislar la obra con el medio que lo rodea, se recomienda un muro perimetral para evitar alteraciones por el ingreso de personas o animales a la zona donde se proyectarán las obras de protección. Las dimensiones del muro perimetral propuesto corresponden a las mostradas en la Figura N°5.40, donde se puede observar

que la altura del cerco es de 2.50 m constituido de postes de concreto, malla ciclón y alambre de púas (Ver planos N°5.1.1, N°5.1.2, y N°5.1.7, en Anexo 8).

La ubicación del muro perimetral se determinó considerando la zona de protección que establece el Reglamento de la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, 2004: “La zona de protección debe ser $1.5H$ del talud”. Y que las obras propuestas no afecten las infraestructuras aledañas.

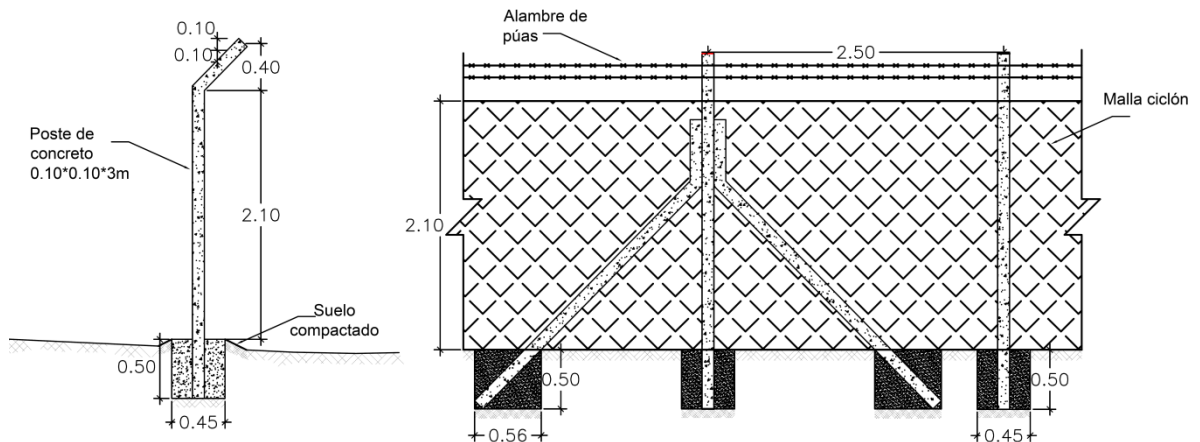


FIGURA N°5.40: Detalle del cerco perimetral, sin escala.

- **Muro Guardanivel**

El problema de socavación en cauces de quebradas y ríos es evidente en la zona de análisis (tanto en los laterales como en el fondo), donde se puede observar cauces con grandes alturas y en algunos casos los caudales no son proporcionales a dichas dimensiones, no obstante, son suficientes para ir socavando y provocando pérdidas de suelos en los márgenes de cuerpos hídricos. Para minimizar dicho impacto se proyectan en el cauce muros guardaniveles (Ver Figura N°5.41), con la finalidad de mantener el nivel del fondo del cauce, y de esta manera proteger la pendiente del mismo y las

fundaciones de las obras proyectadas. Dichos elementos se ubicarán aguas arriba y aguas abajo de las obras de mitigación planteadas (Ver Planos N°5.1.1 y N°5.1.6).

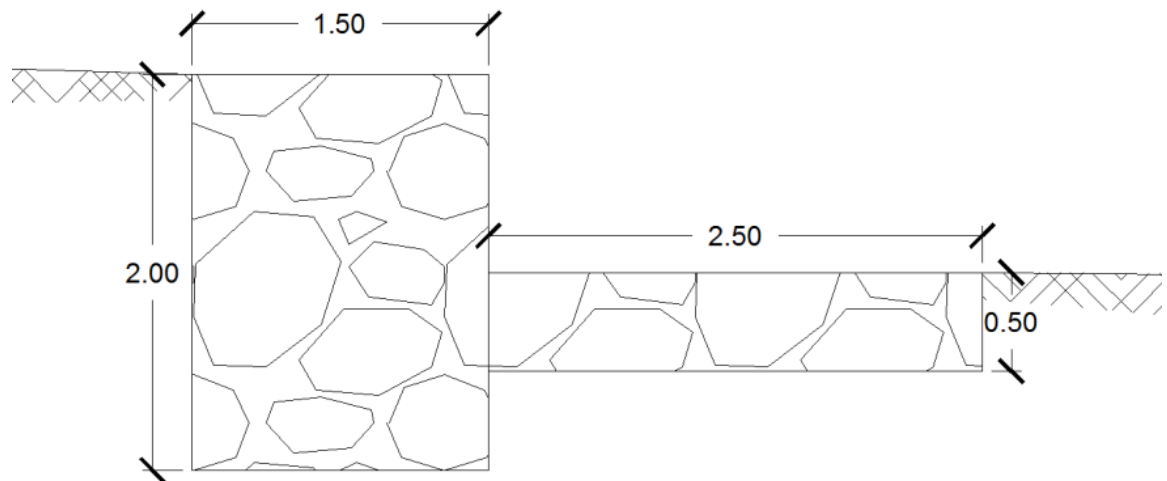


FIGURA N°5.41: Detalle del muro guardanivel, sin escala.

5.5.2 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2

La presente propuesta de solución toma como base las características que muestra la zona afectada por la Cárcava y los estudios básicos realizados al sitio, estos brindan toda la información necesaria para proponer y proyectar las obras requeridas para contrarrestar el fenómeno erosivo. La Propuesta de Alternativa de Solución N°2, tiene como objetivo plantear una alternativa que brinde solución al problema generado por la Cárcava, en este caso para evitar que el proceso erosivo continúe, conducir la descarga desde el colector hasta un cuerpo hídrico y estabilizar y proteger el suelo, a través de diferentes obras y actividades que según su fin contribuyen en conjunto a la estabilización del proceso erosivo, el área determinada para proyectar las obras de solución es la que se muestra en la Figura N°5.42, que tiene un ancho aproximado de 38 m y un largo de 62 m.

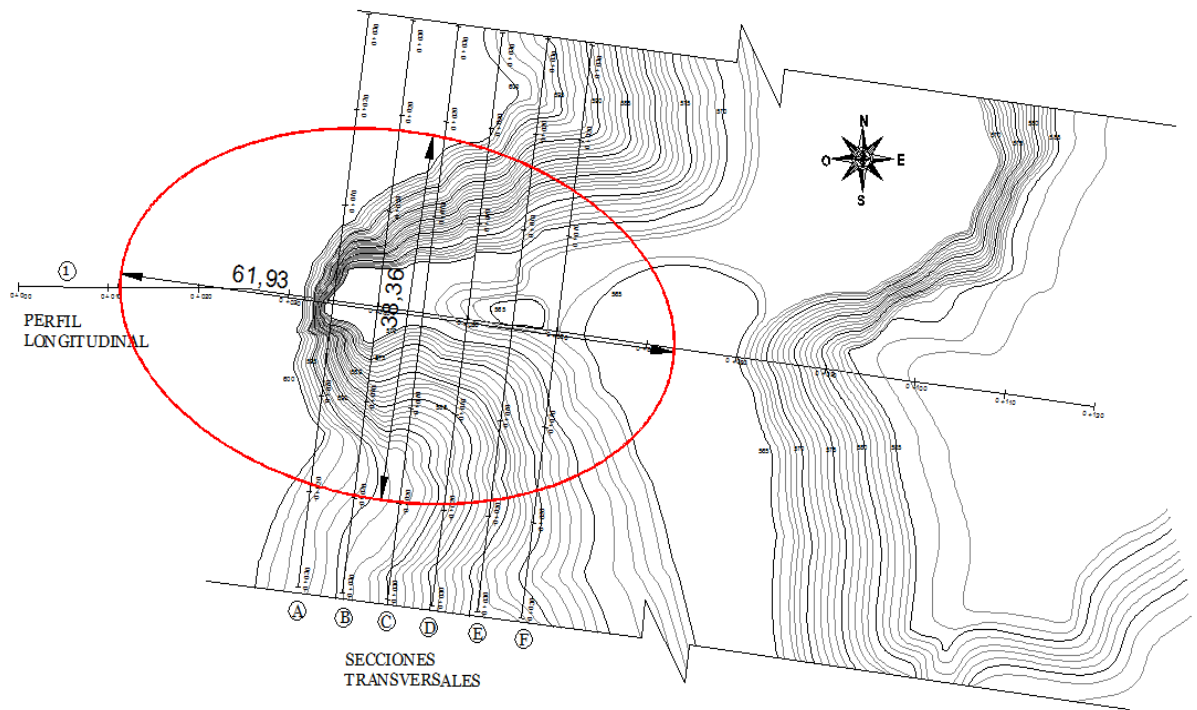


FIGURA N°5.42: Límites del área donde se proyectarán las obras de la Propuesta de Alternativa de Solución N°2.

La alternativa de solución N°2 comprende las siguientes obras (Ver Anexo N°9, Planos de Alternativa de Solución N°2):

- Pozos de Inspección o de Visita, se propone implementar dos pozos de visita que se ubicarán próximos a la corona de la Cárcava y tienen como fin descender el nivel del flujo proveniente del colector y descargarlo hasta un derramadero de mampostería de piedra.
- Muro *Soil Nailing*, para brindar al suelo estabilidad y protección contra la erosión sobre el cabezal de descarga y en la corona de la cárcava.

- Concreto Lanzado o *Shotcrete*, cuyo objetivo es proteger las superficies de los taludes de la erosión y evitar la infiltración de agua que pueda modificar las condiciones de diseño.
- Relleno Conformado, en el cual se apoya el canal derramadero de mampostería de piedra.
- Derramadero de Mampostería de Piedra (gradas disipadoras de energía), con el objetivo de conducir de manera controlada el agua de escorrentía hasta la quebrada.
- Al colector (tubería de 42”) se le proyectará un Cabezal de Descarga de mampostería de piedra, para proteger la tubería en la transición del colector hacia el canal abierto de mampostería de piedra
- Sistema de Drenaje Superficial, que consiste en la colocación de canaletas media caña de concreto, ubicadas en la corona como el cuerpo de los taludes, las cuales descargarán al derramadero.
- Obras Complementarias, que añadan soporte a las obras principales, como es la construcción de un muro perimetral para proteger la zona intervenida con las obras de mitigación evitando el ingreso de personas ajenas.

Para las obras antes mencionadas ha sido necesario realizar los siguientes análisis donde se plantean y justifican el diseño de cada elemento.

5.5.2.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El presente análisis fue desarrollado con el objetivo de establecer el grado de estabilidad de los suelos que conforman el talud natural, ubicado en la margen derecha

de la quebrada donde se localiza la Cárcava en análisis y los taludes de relleno que se proyectarán en el lugar de la Cárcava. Y consiste en el perfilado de taludes, con una inclinación de 45° en el alineamiento de los pozos, estos taludes tendrán alturas de 4.5m, y se colocarán bermas intermedias de 2.50 m con pendiente longitudinal del 3% y del 5% hacia adentro del talud para la recolección de la escorrentía superficial por medio de una canaleta media caña de 0.30 m de diámetro.

- **MODELACIÓN DEL PERFIL DE LA CÁRCAVA**

Se realizó la modelación del diseño de taludes para determinar el factor de seguridad que estos tienen tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, por medio del programa informático GeoSlope 2007, teniendo en cuenta las consideraciones planteadas en el apartado 5.5.1.1, de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, utilizando el método de Bishop, obteniendo los siguientes resultados:

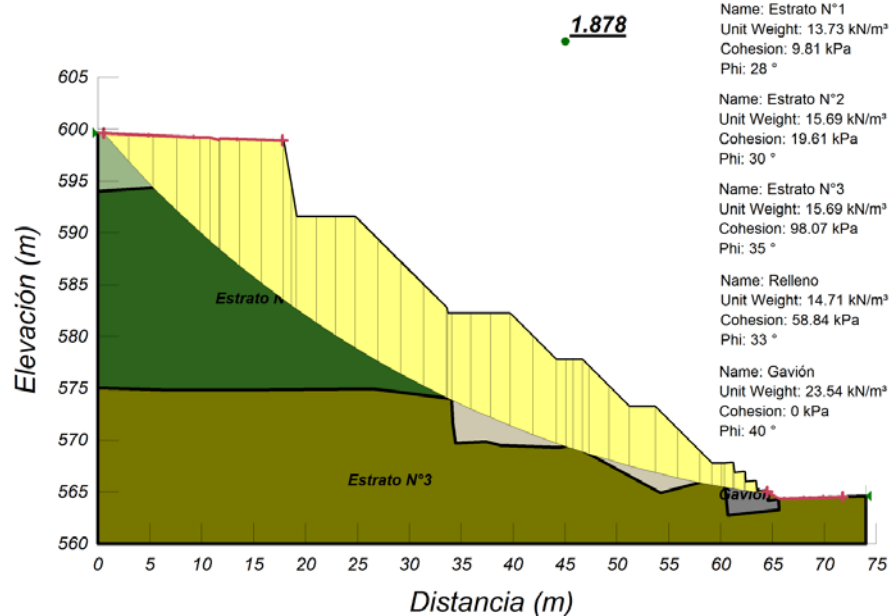


FIGURA N°5.43: Modelación del diseño de taludes del perfil longitudinal, en condiciones estáticas.

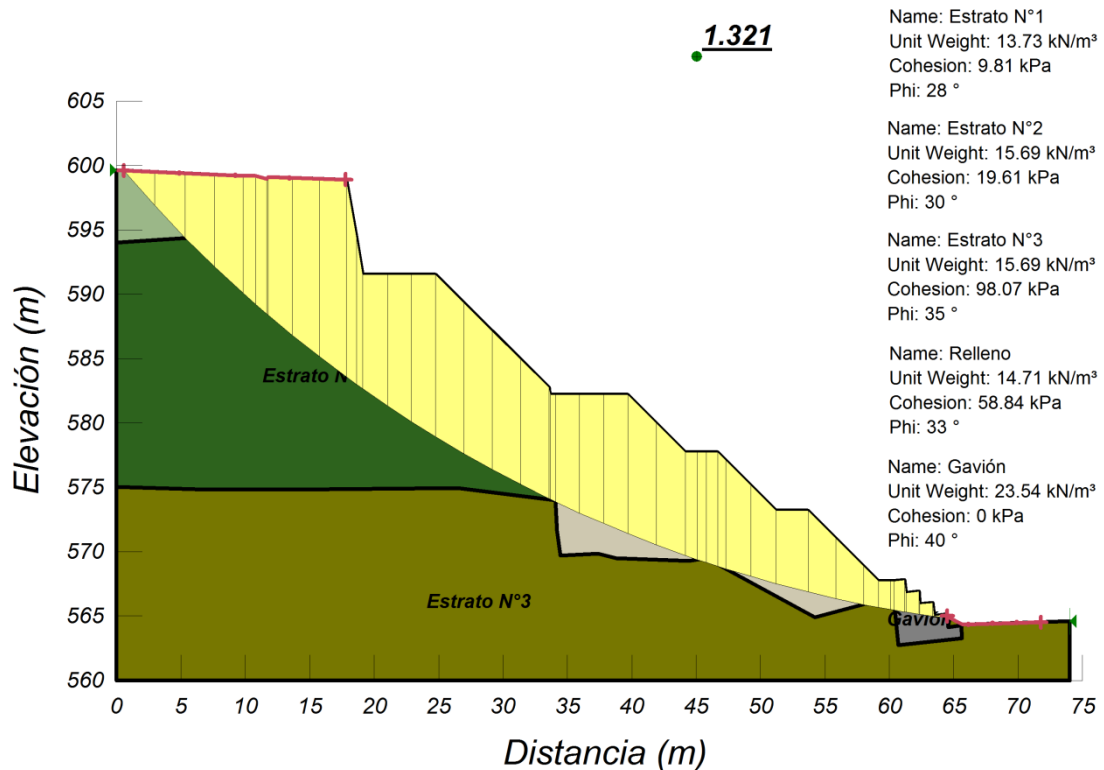


FIGURA N°5.44: Modelación del diseño de taludes del perfil longitudinal, en condiciones pseudoestáticas.

Los taludes proyectados son estables ya que alcanzan factores de seguridad de 1.88 y 1.32 superando los requeridos por la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, estos deben ser mayores que 1.40 y 1.10 en condiciones estáticas y pseudoestáticas respectivamente.

5.5.2.2 PROTECCION SUPERFICIAL EN TALUDES

Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, son utilizadas para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad ayudando a prolongar la vida útil de las obras. Estas estructuras son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

En la Propuesta de Alternativa de Solución N°2, se ha propuesto la colocación de las siguientes técnicas de protección de la superficie:

- Revegetación de los taludes proyectados sobre la Cárcava.
- Concreto lanzado sobre áreas donde se quiere evitar la infiltración de agua.

- **Revegetación de Taludes**

Sobre los taludes conformados se proyecta la siembra de zacate del tipo barrenillo y vetiver, los cuales tienen muy buena adaptación en taludes y se adapta a condiciones xerófitas (ambiente seco). Estos zacates generan barreras vivas que impiden el transporte de partículas de suelo hacia la parte baja; las raíces del zacate vetiver son profundas lo que hace que haya un mayor arraigo con el suelo del talud, contrarrestando el proceso erosivo desde el arranque y transporte de las partículas de suelo, para esta solución se tomaron las consideraciones descritas en la Propuesta de Alternativa de Solución N°1. Las actividades que se deben realizar incluyen la preparación de la superficie, el riego, fertilización y protección posterior a su siembra para asegurar su enraizamiento y desarrollo.

- **Concreto Lanzado**

El concreto lanzado brinda protección al suelo contra la erosión superficial y la infiltración del agua, este se propone como obra complementaria en aquellos sitios donde sea necesario reforzar para asegurar que las condiciones de diseño prevalezcan con el tiempo y que la estabilidad de toda la estructura se vea comprometida, estos son:

- Bermas intermedias.
- Taludes ubicados sobre la tubería y corona de la Cárcava.

- **En Bermas:**

En las bermas intermedias, se colocará sobre la superficie del suelo una capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor, en su interior se coloca una electromalla de acero, la cual le dará soporte a la capa de concreto por esfuerzos por temperatura; Las consideraciones tomadas se detallan en la Alternativa de Solución N°1.

- **En Taludes:**

En los taludes sobre la corona de la Cárcava, se colocará concreto lanzado con una capa de 10 cm de espesor, una electromalla de acero y varillas acero para anclar el concreto al suelo, siendo este sitio un punto crítico que necesita mayor protección.

5.5.2.3 POZO DE INSPECCIÓN O DE VISITAS DE AGUAS LLUVIAS

Los pozos de inspección o de visita funcionan principalmente como estructuras de control de flujo en los sistemas de recolección de aguas lluvias, pues proveen un acceso conveniente al sistema para la inspección y el mantenimiento; además a través de estos, se consigue descender el nivel del flujo por medio de caídas verticales, aumentar el diámetro de tubería en el colector, efectuar cambios de pendiente, realizar conexiones y reunir flujos de otras tuberías al sistema y finalmente proveer ventilación y alivio de presión al sistema colector de aguas lluvias.

Los materiales usados para la construcción de pozos de inspección son variados, la elección del material depende de los requerimientos del proyecto, la disponibilidad de los materiales y el costo, entre los materiales más comunes podemos mencionar: mampostería de ladrillo de barro cocido, concreto reforzado colocado *“in-situ”*, y secciones prefabricadas de concreto.

- **Artículo 92 de la Ley de Urbanismo y Construcción**

El artículo 92 proporciona lineamientos y consideraciones a tomar en cuenta en el diseño y construcción de pozos de visita para aguas lluvias, como sigue a continuación:

- **Pozos de Visita para Aguas Lluvias.**

“Los pozos de visita para aguas lluvias podrán ser de ladrillo de barro repellados o de piedra, cuando su altura no exceda de 6.00 m; cuando su altura sea mayor o en el caso de tener caídas iguales o mayores a 3.00 m éstos deberán ser reforzados adecuadamente debiendo presentar en los planos respectivos, los detalles y cálculos estructurales. La distancia máxima entre pozos de visita será de cien metros (100.00 m), con una variación permisible de 15% en casos especiales.

Los detalles constructivos del pozo de visita típico sin refuerzo estructural, se presentan en Figura N°5.45. Las tapaderas de los pozos serán de hierro fundido en las vías de circulación vehicular, pudiendo ser de concreto armado en los Pasajes Peatonales”.

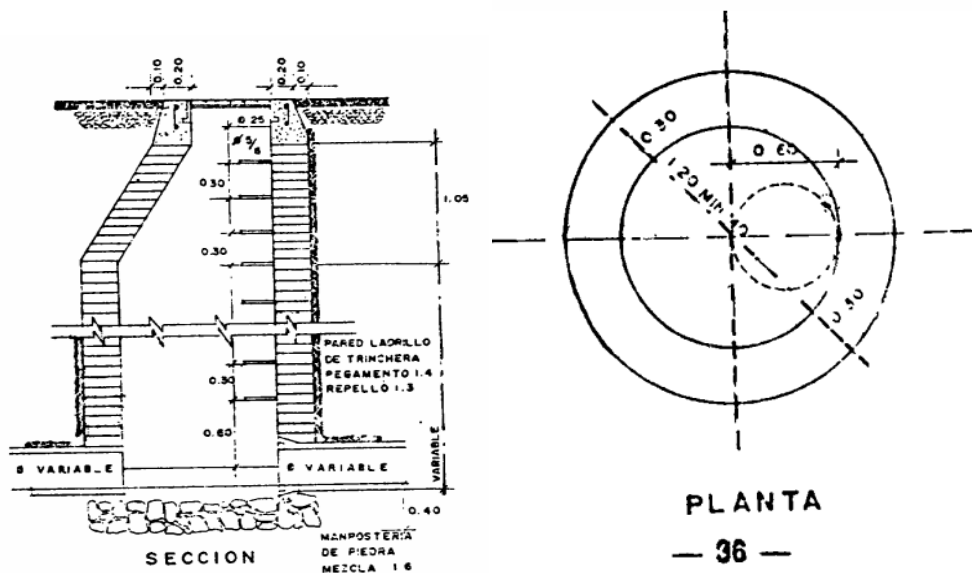


FIGURA N°5.45: Detalle de pozo típico para aguas lluvias.
FUENTE: Ley de Urbanismo y Construcción de El Salvador.

En la Propuesta de Alternativa de Solución N°2, para proporcionar una respuesta a la necesidad de una estructura que dé alivio a la descarga de la urbanización, se proyectó un sistema que consta de dos pozos de visita, conectados por una tubería de 42" de diámetro que luego descargan en un canal abierto y posteriormente a un derramadero en gradas. Los pozos, de concreto reforzado, tienen un diámetro interno de 2.00 m y una altura de 10.00 m, estas dimensiones obedecen a criterios como: diámetros de tuberías de entrada y salida, alturas de caída y niveles deseados u obligados, cabe aclarar que para un correcto dimensionamiento se debe realizar un análisis estructural detallado que garantice la estabilidad y el funcionamiento del pozo, que para este trabajo de graduación no se da a nivel de detalle puesto que dentro de los alcances de este estudio se definieron propuestas del tipo conceptual.

Se eligió el material (Concreto Reforzado) para asegurar la hermeticidad de la estructura y de la conexión con la tubería.

- **Consideraciones en el dimensionamiento de Pozos:**

- 1- Diámetro Interno de Pozos:**

- Diámetro mínimo de 1.20 m para pozos de aguas lluvias, recomendado por el Manual de Diseño de Drenaje Urbano de la *Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation*.
 - Se consideró el máximo diámetro de tubería que conecta al pozo, ambas tuberías (de entrada y de salida) poseen 42" de diámetro (equivalente a 1.06 m).
 - Sobreecho de 0.47 m a ambos lados de la tubería.
 - Lo que dio como resultado un diámetro interno de 2.00 m.

2- Diámetro Externo de Pozos:

- Se considera el espesor de las paredes de concreto de 0.30 m, esto da como resultado un diámetro externo de 2.60 m.

3- Altura de Pozo:

- Se tomó en consideración la altura de llegada de la tubería desde el colector de la urbanización, y se estimó una altura de caída.
- Se tomaron en cuenta las demás obras que componen la alternativa de solución, (geometría y consideraciones de los taludes, del derramadero y canales). (Ver Perfil de Alternativa de Solución N°2, Plano N°5.2.2 en Anexo N°9)
- Por lo tanto se definieron pozos de 10 m de altura.

Los pozos de visita o de inspección que se proyectan, por ser estructuras esbeltas en cuanto a su relación alto-ancho y por las alturas de caída de agua, se utilizaron mecanismos que brinden apoyo a la estructura en cuanto a estabilidad y protección al desgaste por el flujo constante de agua, como lo indica el Art.92 de la Ley de Urbanismo y Construcción. Por lo que dentro de los pozos se proyecta ubicar elementos de concreto reforzado, de sección rectangular con forma de cruz, la que se va colocando cada 1.50 m conforme se va ascendiendo dentro del pozo y a la vez estos elementos se van girando a 45°, (Ver Figura N°5.46) su función es servir como disipadores de energía, puesto que buscan disminuir el impacto del agua sobre el piso y paredes del pozo²⁵. El rango de separación de los disipadores se encuentra normalmente entre 1.0 a 2.0 m de separación, mayores a este rango dependerá de un análisis más detallado y a criterio del diseñador.

²⁵ Otra Alternativa a utilizar para disipar energía en pozos es la de los Pozos con Cajas de Sostén.

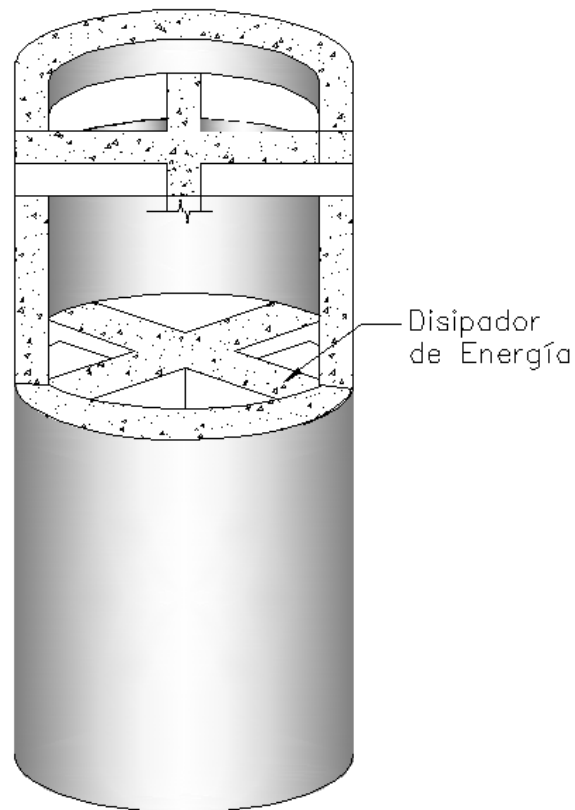


FIGURA N°5.46: Detalle de pozo donde muestra la ubicación de los disipadores de energía.

El pozo en su parte superior posee una estructura en forma de cono de concreto reforzado repellado, este cono permite la transición desde el diámetro interno del pozo hasta la salida o boca de acceso. Generalmente el cono se construye excéntrico ya que permite una mejor ubicación de los escalones en el pozo y provee un acceso vertical para las tareas de inspección y mantenimiento. En la salida o boca de acceso se coloca la tapadera metálica (de hierro fundido) de 0.50 m a 0.60 m de diámetro²⁶, tanto la estructura de salida (o marco) como la tapadera deben estar diseñadas para proporcionar la resistencia adecuada a soportar cargas superpuestas, además debe haber un buen ajuste entre la tapa y el marco de salida, y debe mantener disposiciones

²⁶ Manual de Diseño de Drenaje Urbano, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Pág.6-5.

para abrir y a la vez proporcionar resistencia a la apertura no autorizada. En el fondo del pozo se coloca una losa de concreto reforzado, que le brinda protección al fondo por el desgaste sufrido debido al movimiento del agua, esta losa se asienta sobre un emplantillado de mampostería de piedra, a su vez esta última se asienta sobre una capa de suelo cemento, (el espesor varía según los requerimientos, altura y diámetro del pozo, entre otros). Es necesaria además la colocación de escalones dentro del pozo, en la alternativa de solución se plantearon escalones hechos con varillas de acero espaciados a cada 0.30 m (obtenidos de la Ley de Urbanismo y Construcción), los escalones proveen una vía para descender dentro del pozo, la cual es útil cuando se requiere inspeccionar y darle limpieza y/o mantenimiento al sistema colector.

- **ANÁLISIS ESTRUCTURAL SIMPLIFICADO DE POZO (H=10.0 m)**

Para garantizar que la estructura del pozo soporte los empujes generados por el suelo, se verifica a través del siguiente procedimiento:

- **TEORÍA DE COULOMB EN SUELOS FRICCIONANTES**

En la teoría se considera que el empuje sobre un muro se debe a una cuña de suelo limitada por el paramento del muro, la superficie del relleno y una superficie de falla desarrollada dentro del relleno, a la que supone plana.

- **Cálculo de Empuje Activo:**

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

Donde:

E_a = Empuje activo.

γ = Peso volumétrico del suelo

H = altura del pozo.

Ka = Coeficiente de presión activa

φ = ángulo de fricción interna del suelo

ω = ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical

β = ángulo formado entre la superficie plana del relleno y la horizontal

δ = ángulo de fricción entre suelo y muro

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \omega)}{\cos^2 \omega \cos(\delta + \omega) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \omega) \cos(\omega - \beta)}} \right)^2}$$
$$\gamma = 1.5 \frac{T}{m^3}$$

H = 10 m

$\varphi = 29^\circ$

δ Puede tomarse como:

$$\delta = \frac{2}{3} * \varphi$$

$$\delta = \frac{2}{3} * 29^\circ$$

$$\delta = 19.33^\circ$$

Debido a que el muro es de respaldo vertical, $\omega=0$ y el relleno es horizontal $\beta=0$, se obtuvo la expresión:

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos(\delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi)}{\cos(\delta)}} \right)^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2 29}{\cos(19.33) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(19.33 + 29)\sin(29)}{\cos(19.33)}} \right)^2}$$

$$K_a = 0.3716$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

$$E_a = \frac{1}{2} * 1.5 * 10^2 * 0.3716$$

$$E_a = 27.87 \text{ T}$$

▪ **Cálculo de Empuje Pasivo:**

Donde:

E_p = Empuje pasivo.

γ = Peso volumétrico del suelo

H = altura del pozo.

K_p = Coeficiente de presión pasiva

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \omega)}{\cos^2 \omega \cos(\omega - \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi)\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\omega - \delta) \cos(\omega - \beta)}} \right)^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(29)}{\cos(-19.33) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(19.33 + 29)\sin(29)}{\cos(-19.33)}} \right)^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(29)}{\cos(-19.33) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(19.33 + 29)\sin(29)}{\cos(-19.33)}} \right)^2}$$

$$K_p = 2.11$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

$$E_p = \frac{1}{2} * 1.5 * 10^2 * 2.11$$

$$E_p = 158.69 \text{ T}$$

- **ANÁLISIS CON EL MÉTODO DE MONONOBE OKABE.**

El método estático desarrollado por Mononobe y Okabe (1926) es el usado con más frecuencia en el cálculo de las fuerzas sísmicas del suelo. El análisis es una extensión de la teoría de falla de Coulomb, tomando en cuenta las fuerzas de inercia horizontal y vertical en el suelo.

Las consideraciones de equilibrio de la cuña de suelo sobre el pozo, conducen a un valor, E_{ae} , de la fuerza activa ejercida sobre la masa de suelo mediante el estribo y viceversa. Cuando el estribo está en el punto de falla, E_{ae} está dada por la expresión:

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE}$$

Donde el coeficiente de empuje activo sísmico K_{ae} es:

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta)} \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right)^{-2}$$

Donde:

E_a = Empuje activo

γ = Peso volumétrico del suelo

H = Altura del pozo

Ka = Coeficiente de presión activa

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo

β = ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical

i = ángulo formado entre la superficie plana del relleno y la horizontal

δ = ángulo de fricción entre suelo y muro

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(29 - 0 - 0)}{\cos 0 \cos^2 0 \cos(19.33 + 0 + 0)} \times \left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(29 + 19.33)\text{sen}(29 - 0 - 0)}{\cos(19.33 + 0 + 0) \cos(0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(29)}{\cos(19.33)} \times \left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(29 + 19.33)\text{sen}(29)}{\cos(19.33) \cos(0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(29)}{\cos(19.33)} \times \left(1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(29 + 19.33)\text{sen}(29)}{\cos(19.33) \cos(0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{AE} = 0.5858$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} g \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE}$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} * 9.81 * \gamma * 10^2 (1 - 0) * K_{AE}$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} * 9.81 * 1.5 * 10^2 (1 - 0) * 0.187$$

$$E_{AE} = 227.406 \text{ KN} = 23.18 \text{ T}$$

La expresión equivalente para la fuerza pasiva, si el pozo se desplaza presionando sobre el relleno es:

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi - \theta + \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta)} \times \left(1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi - \delta)\text{sen}(\phi - \theta + i)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right)^{-2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(29 - 0 + 0)}{\cos 0 \cos^2 0 \cos(19.33 - 0 + 0)} \times \left(1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(29 - 19.33)\text{sen}(29 - 0 + 0)}{\cos(19.33 - 0 + 0) \cos(0 - 0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(29)}{\cos(19.33)} \times \left(1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(29 - 19.33)\text{sen}(29)}{\cos(19.33) \cos(0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(29)}{\cos(19.33)} \times \left(1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(29 - 19.33)\text{sen}(29)}{\cos(19.33) \cos(0)}} \right)^{-2}$$

$$K_{PE} = 1.625$$

$$E_{PE} = \frac{1}{2} g \gamma H^2 (1 - k_v) K_{PE}$$

$$E_{pe} = \frac{1}{2} * 9.81 * 1.5 * 10^2 (1 - 0) * 1.625$$

$$E_{pe} = 1195.71 \text{ KN} = 121.88 \text{ T}$$

Suma de fuerzas de aplicación F_a

E_a	43.94	T
E_{ae}	23.18	T
F_a	67.12	T
E_p	98.67	T
E_{pe}	121.89	T
F_p	220.56	T

$$f_a = 67.12 \text{ ton} < f_p = 220.56 \text{ T}$$

Lo anterior indica que las fuerzas pasivas del suelo no permiten que la estructura del pozo se voltee, resistiendo por lo tanto las paredes de concreto reforzado los esfuerzos, cortantes, flexionantes y normales.

5.5.2.4 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS

Con el objetivo de conducir el agua proveniente del colector de 42" se proyectan gradas disipadoras de energía conocidas como derramadero, la cual es una solución ampliamente utilizada en El Salvador, pues brinda una respuesta factible al manejo y control del transporte de escorrentía desde colectores hasta sus descargas.

Las consideraciones de diseño tomadas en cuenta para esa obra corresponden a las expuestas en el apartado 5.5.1.3, de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1.

5.5.2.5 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS)

Para el drenaje secundario se proyectan canaletas trapezoidales y diques de suelo compactado en la corona superior del talud y canaletas de media caña de 0.30 m de diámetro, situadas en la parte interior de cada berma, para garantizar el drenaje de los taludes, ambas canaletas de concreto reforzado, la pendiente longitudinal es de 3%, y están dirigidas para que drenen hacia el derramadero principal (Ver Anexo N°9, Plano N°5.2.1, N°5.2.2 y N°5.2.6). Las consideraciones tomadas para el diseño de estos drenajes es el realizado en la Propuesta de Alternativa de Solución N° 1, en el apartado 5.5.1.4 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS). Donde se consideran las siguientes secciones de canaletas:

- **Canaleta Trapezoidal**

Las dimensiones de la canaleta de sección trapezoidal se determinaron a través de la fórmula de Manning y Continuidad, dando como resultado una sección trapezoidal de ancho superior de 0.60 m y ancho inferior de 0.30 m, la que tiene una capacidad hidráulica de 0.3045 m³/s. De acuerdo a los cálculos obtenidos, utilizando la fórmula racional para determinar el caudal hidrológico para cuencas con áreas menores de 1.50

km², se tiene que para un talud de área de 7.00 m de ancho x 14.00 m de largo, el caudal de escorrentía superficial generada es de 0.00321 m³/s.

- **Canaleta de media caña**

Se verificaron las secciones hidráulicas de las canaletas para comprobar su capacidad para transportar los caudales requeridos. En donde se obtuvo a través de la fórmula de Manning y Continuidad, que la sección de la canaleta de media caña de diámetro 0.30m, tiene una capacidad hidráulica de 0.068 m³/s. Además se verificó el caudal hidrológico generado sobre los taludes propuestos, donde utilizando la fórmula racional para determinar el caudal hidrológico para cuencas con áreas menores de 1.50km², se tiene que para un talud de área de 30.00 m de ancho x 30.00 m de largo, el caudal de escorrentía superficial generada es de 0.0295 m³/s.

- **Drenaje Subterráneo**

También es necesario proyectar drenajes dentro del talud conformado (drenaje subterráneo), esto por las discontinuidades en los materiales que se tienen en el talud y para evitar que exista concentración de agua que sature a los materiales, estos drenajes se ubican en los límites de cada estrato y donde lo amerite según el diseño, Ver Figura N° 5.32, Apartado 5.5.1.4, de la Propuesta de Alternativa de Solución N° 1.

5.5.2.6 MURO SOIL NAILING

Dentro de esta alternativa se incluye la utilización del sistema de suelo enclavado o *soil nailing* sobre el cabezal de descarga y en la corona de la Cárcava, con el que se busca la estabilización del suelo a través de inclusiones, cuyo diseño depende de las propiedades del suelo y la interacción que tienen entre sí. Se proyectan taludes protegidos utilizando el sistema *soil nailing* el cual consta de una pantalla o capa de

recubrimiento de concreto lanzado y refuerzo por temperatura, sujetado al suelo por medio de inclusiones o anclas (*nails*) de acero, perforadas en la masa de suelo, que le proporcionan una unión firme entre el suelo y la pantalla. En primer lugar se realizó la evaluación de la estabilidad de taludes en su estado natural utilizando el programa informático SNAILZ, el cual es un programa de computadora desarrollado por el Departamento de Transporte de California (CALTRANS) en 1991. El programa se basa en el equilibrio límite bidimensional que considera únicamente el equilibrio de fuerzas. El análisis se desarrolló en estado estático como también en estado pseudoestático, considerando un coeficiente sísmico horizontal de $K_h=0.20$, para determinar las condiciones de estabilidad del talud. *Según los resultados obtenidos los taludes son inestables (Ver Figuras N°5.47 y N°5.48), ya que los factores de seguridad obtenidos son 0.87 (estático) y 0.65 (pseudoestático) menores que los mínimos requeridos por la "Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes", 1.40 y 1.10 respectivamente por lo que se requiere reforzar el suelo haciendo uso del muro tipo Soil Nailing.*

La metodología utilizada para el diseño del *Soil Nail* es la del trabajo de investigación titulada: *"Análisis y Diseño de Estructuras de Retención de Aplicación Reciente en El Salvador"*, Universidad de El Salvador, dicha metodología está basada en los lineamientos establecidos en el documento de la FHWA SA-96-069R, TITULADO *"MANUAL FOR DESIGN AND CONSTRUCTION MONITORING OF SOIL NAIL WALLS"*, DE R.J. BYRNE; D. COTTON; ET. AL.(1998).

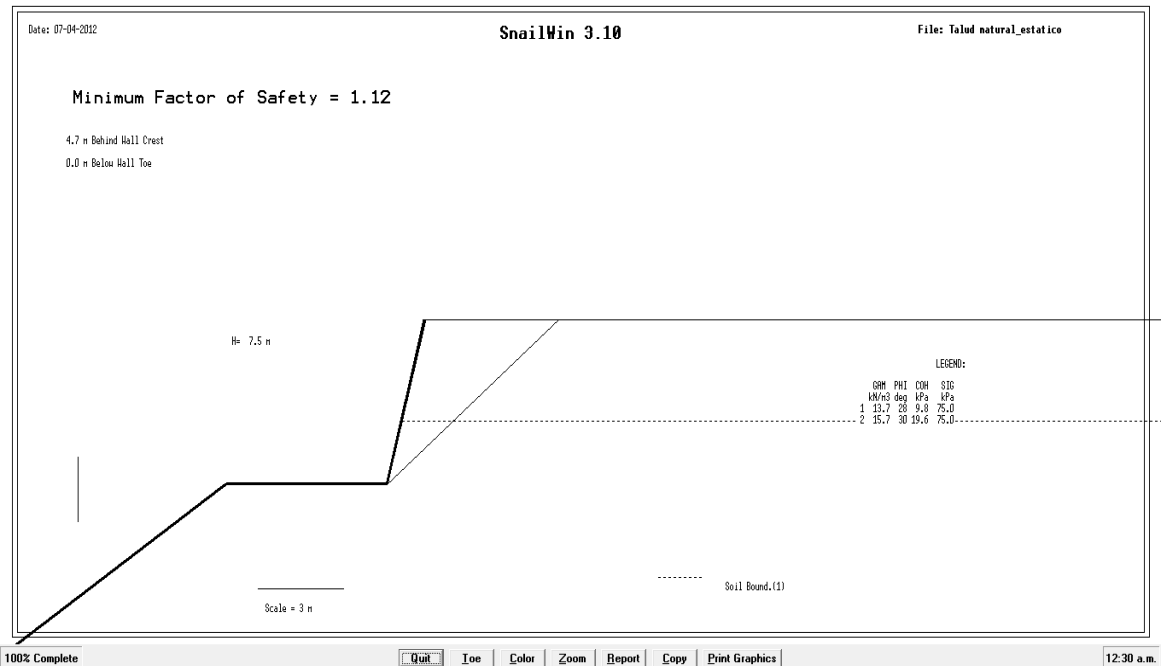


FIGURA N°5.47: Factor de seguridad del talud natural en condición estática.

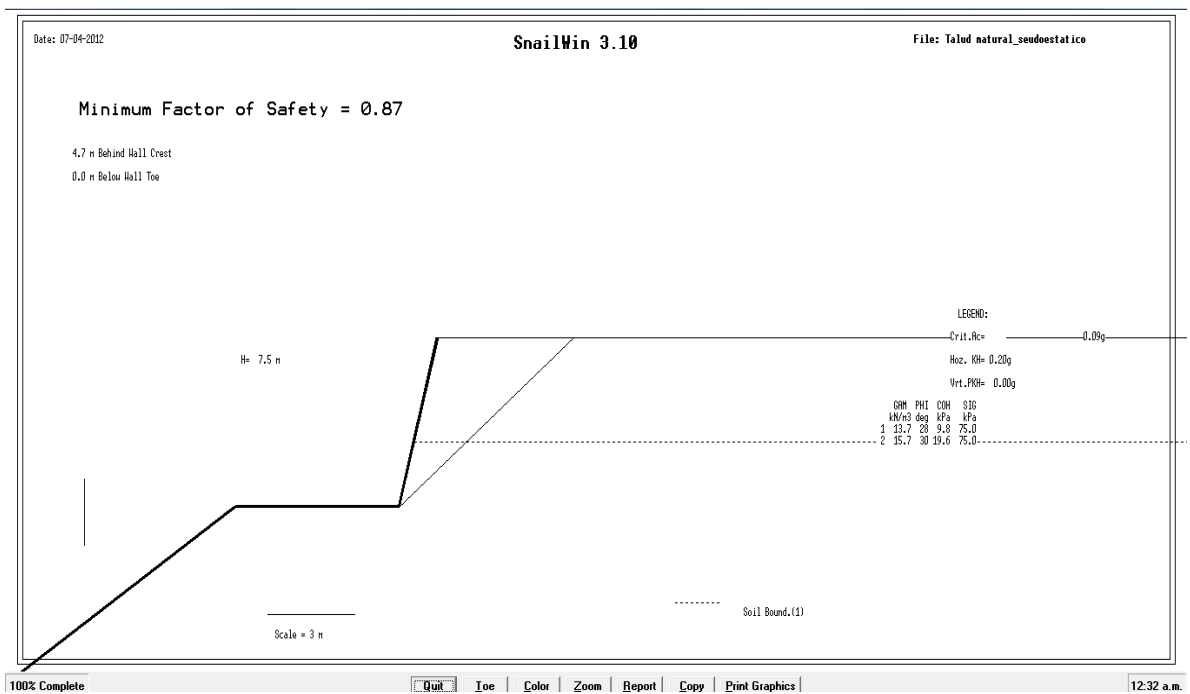


FIGURA N°5.48: Factor de seguridad del talud natural en condición seudo estática.

Para la Propuesta de Alternativa de Solución N°2, es necesario diseñar un muro *soil nailing* en un corte semivertical con una altura de 7.5 m, constituido por suelos de origen volcánico conocidos como tierras blancas, específicamente arena limosas con densidad de media a densa. Para el diseño se consideraran valores de las características geotécnicas promedios, tal como se plantea a continuación²⁷:

- El peso volumétrico promedio es de 14.71 KN/m³
- Angulo de fricción interna 29°.
- Cohesión 7.50 KN/m.

Además se considera un esfuerzo unitario de adherencia de 75 KN/m²

- **Geometría del Muro**

El muro tiene una altura de 7.5 m con una inclinación de 10° con respecto a la vertical en la pantalla de revestimiento. Se asumirá una distancia inicial entre *nails* de 1.5 m tanto en el sentido vertical como en el horizontal. Los *nails* serán instalados con una inclinación de 15° con respecto a la horizontal en un agujero de 150 mm de diámetro y serán inyectados con *grout* de 21 Mpa de resistencia.

- **Calculo de longitud preliminar del *Nail***²⁸

- Cálculo del ángulo de fricción del suelo factorado $\phi_D = 0.75$, tal como se detalla a continuación:

²⁷ Para efecto de diseño la cohesión es disminuida al 50% tomando en cuenta la susceptibilidad de este tipo de estructuras a la disminución de la cohesión y considerando que dicha disminución de cohesión es posible por aumento de humedad siendo este un factor determinante.

²⁸ Para encontrar la longitud preliminar del *nail*, se hace uso de las cartas de diseño elaboradas por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).

$$\begin{aligned}\phi_D &= \tan^{-1}[\phi_\phi * \tan(\phi)] \\ \phi_D &= \tan^{-1}[0.75 * \tan(29)] \\ \phi_D &= \mathbf{22.57^\circ}\end{aligned}$$

- Cálculo de la cohesión adimensional factorada, tabla $\phi_c = \mathbf{0.90}$

$$\begin{aligned}C_D &= \frac{\phi_c * C_U}{\Gamma_w * \gamma * H} \\ C_D &= \frac{0.90 * 7.35}{1.35 * 14.71 * 7.5} \\ C_D &= \mathbf{0.044}\end{aligned}$$

En la figura 5.49 para un ángulo de inclinación de terreno $\beta=0$, planteando el valor de $\tan(\phi_D) = 0.42$, a la curva adimensional con el ángulo de inclinación de la pantalla del muro, se determina el valor de capacidad de tensión adimensional de $T_D=\mathbf{0.22}$.

- Cálculo de la resistencia nominal requerida del *nail* (T_{NN}).

$$\begin{aligned}T_{NN} &= \frac{T_D [\Gamma_w * \gamma * H * S_H * S_V]}{\phi_N} \\ T_{NN} &= \frac{0.22 [1.35 * 14.71 * 7.5 * 1.5 * 1.5]}{0.90} \\ T_{NN} &= \mathbf{81.92 KN}\end{aligned}$$

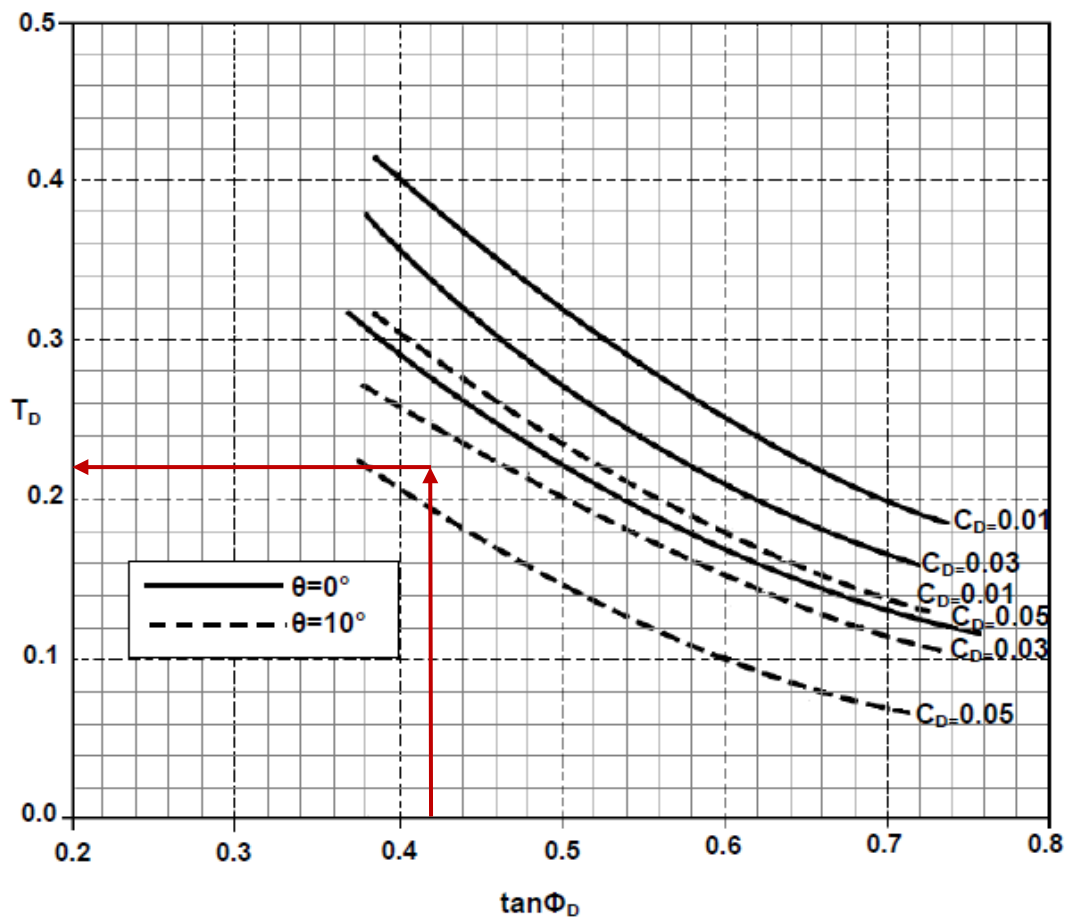


FIGURA N°5.49: Carta de diseño utilizadas para determinar la longitud preliminar del *Nail*, para $\beta=0^\circ$ y $\theta=10^\circ$.

FUENTE: Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).

Cálculo del área de acero del *nail*. Para una resistencia de fluencia del acero de refuerzo del *nail* de $f_y=60 \text{ Ksi}=0.420 \text{ KN/mm}^2$. Se multiplica por un 10% por efectos de protección contra la corrosión.

$$A_s = \frac{T_{NN}}{f_y}$$

$$A_s = \frac{81.92}{0.420}$$

$$A_s = 195.05 * 1.10 = \mathbf{214.55 \text{ mm}^2}$$

TABLA 4.6. PROPIEDADES DE BARRAS DE REFUERZO ROSCADAS [ASTM A-615, GRADOS 60 Y 75 (420 MPa Y 525 MPa)], (LAZARTE, ELÍAS, 2003)													
DESIGNACIÓN DE BARRA		DIÁMETRO NOMINAL		ÁREA NOMINAL		PESO UNITARIO		DIÁMETRO MÁXIMO CON ROSCA		ESFUERZO DE FLUENCIA		MÁXIMA CARGA AXIAL	
SISTEMA INGLÉS	SISTEMA MÉTRICO	in	mm	in ²	mm ²	Lb/ft	Kg/m	in	mm	Ksi	MPa	kips	KN
6	19	0.750	19.1	0.44	284	1.50	2.24	0.86	21.8	60	414	26.4	118.0
										75	517	33.0	147.0
7	22	0.875	22.2	0.60	387	2.04	3.04	0.99	25.1	60	414	36.0	160.0
										75	517	45.0	200.0
8	25	1.000	25.4	0.79	510	2.67	3.98	1.12	28.4	60	414	47.4	211.0
										75	517	59.3	264.0
9	29	1.128	28.7	1.00	645	3.40	5.06	1.26	32.0	60	414	60.0	267.0
										75	517	75.0	334.0
10	32	1.270	32.3	1.27	819	4.30	6.41	1.43	36.3	60	414	76.2	339.0
										75	517	95.3	424.0
11	36	1.410	35.8	1.56	1006	5.31	7.91	1.61	40.9	60	414	93.6	417.0
										75	517	117.0	520.0
14	43	1.693	43.0	2.25	1452	7.65	11.39	1.86	47.2	60	414	135.0	601.0
										75	517	168.8	751.0

TABLA N°5.18: Propiedades de barras de refuerzos roscadas
FUENTE: ASTM A-615, GRADOS 60 Y 75 (420 MPa y 525 Mpa), (Lazarte Elias,2003)

- **Propuesta:**

De los resultados obtenidos se escoge la barra N°7 grado 60 en sistema inglés (N° 22 sistema métrico) con un área transversal de 387 mm² para los *nails*, ya que cumple con la resistencia nominal requerida del *nail* y con el área de acero requerida (Ver Tabla N°5.18).

- *Cálculo de la resistencia adimensional del suelo Q_D , para la cual es necesario calcular la resistencia última de adherencia del suelo Q_e , a través de pruebas de extracción de campo, de lo contrario se procede a utilizar la siguiente tabla con el tipo de suelo.*

TABLA 4.9. ESFUERZO ÚLTIMO DE ADHERENCIA EN SUELOS GRANULARES (BYRNE, 1998, FHWA)		
MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN	TIPO DE SUELO	ESFUERZO UNITARIO ÚLTIMO DE ADHERENCIA KN/m ² (PSI)
Agujero abierto	Limo no plástico	20 - 30 (3.0 - 4.5)
	Arena de densidad media y arena limosa/limo arenoso	50 - 75 (7.0 - 11.0)
	Arena limosa densa y grava	80 - 100 (11.5 - 14.5)
	Arena limosa muy densa y grava	120 - 240 (17.5 - 34.5)
	Loess	25 - 75 (3.5 - 11)

TABLA N°5.19: Esfuerzo último de adherencia en suelos granulares.

FUENTE: (BYRNE, 1998, FHWA)

Para nuestro caso como se trata de un suelo de densidad media el rango se encuentra entre 50-75 KN/m², por lo que utilizaremos un valor de 70 KN/m², (Ver tabla N°5.19). Luego se debe calcular la relación (T_D/Q_D), donde Q_D es la resistencia de extracción

Cálculo de la resistencia adimensional del suelo Q_D ,

$$Q_e = (\text{esfuerzos unitarios últimos}) * \pi * D_a$$

$$Q_e = 70 * \pi * 0.15$$

$$Q_e = 32.99 \text{ KN/m}$$

Para separaciones verticales y horizontales de 1.5m entre cada *Nail*, se calcula la resistencia adimensional del suelo con un factor de reducción de $\Phi_Q = 0.70$, tal como se detalla a continuación:

$$Q_D = \frac{\Phi_Q * Q_e}{\Gamma_w * \gamma * S_H * S_V}$$

$$Q_D = \frac{0.70 * 35.34}{1.35 * 14.71 * 1.50 * 1.50}$$

$$Q_D = 0.52$$

$$\frac{T_D}{Q_D} = \frac{0.22}{0.52} = 0.42$$

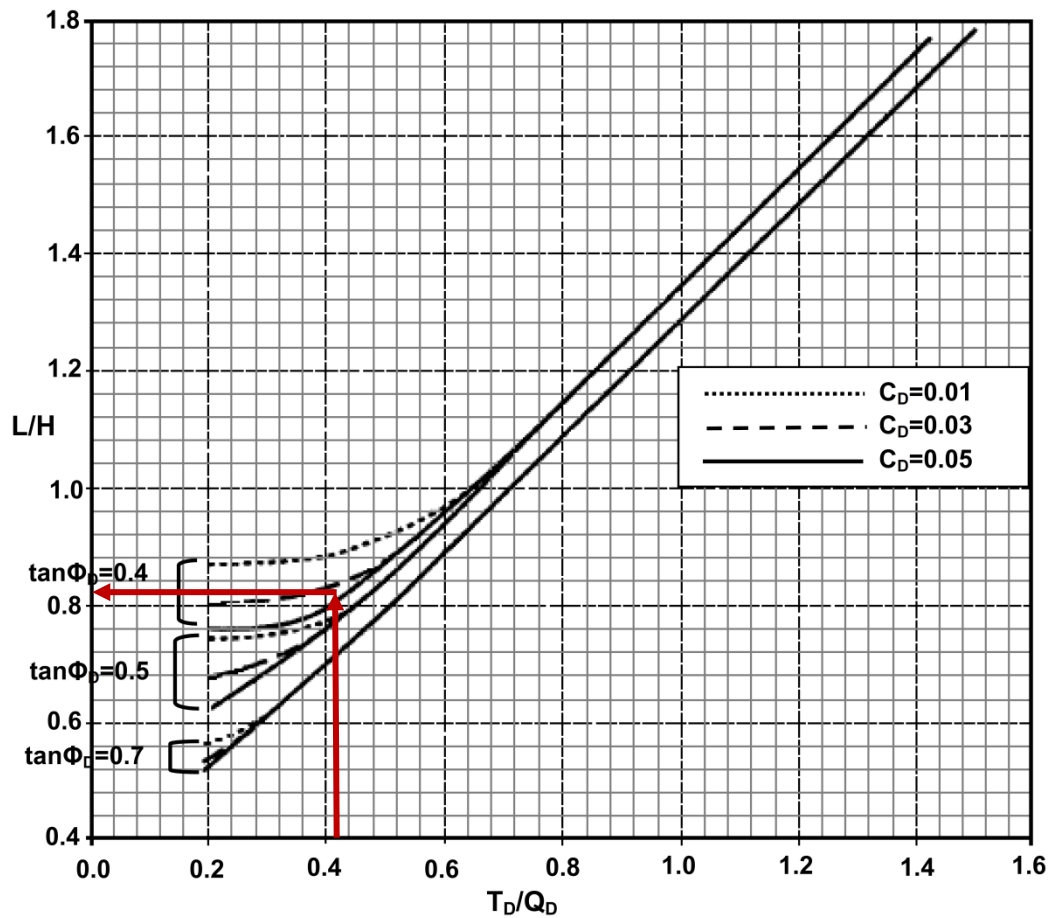


FIGURA N°5.50: Carta de diseño utilizada para determinar la longitud preliminar del *Nail*, para $\beta=0^\circ$ y $\Theta=10^\circ$.

FUENTE: Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).

De la figura N°5.50, se determinó:

$$\frac{L}{H} = 0.83$$

$$L = 0.83 * H = 0.83 * 7.50$$

$$L = 6.23m \approx 7m$$

$$\frac{Q_D}{\left(\frac{L}{H}\right)} = \frac{0.52}{\left(\frac{6.23}{7.50}\right)} = 0.63$$

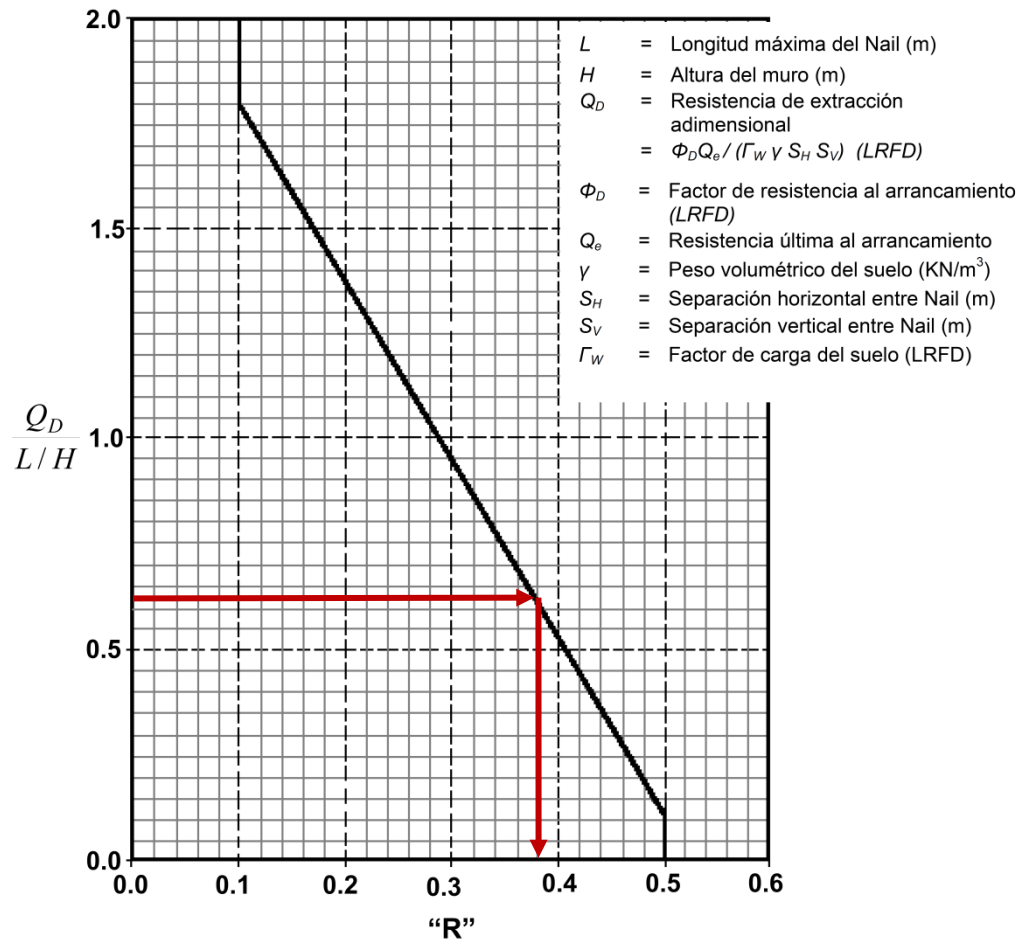


FIGURA N°5.51. Distribución supuesta para el diseño de la longitud del *Nail*, para $\beta=0^\circ$ y $\theta=10^\circ$.
FUENTE: FHWA Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls, Byrne. 1998.

Se debe determinar el valor de $R=0.38$, de la figura N°5.51.

$$r = \frac{h}{\left(\frac{H}{2}\right)} (1 - R) + R$$

$$r = \frac{2.25}{\left(\frac{7.50}{2}\right)} (1 - 0.38) + 0.38$$

$$r = 0.752$$

$$r * L = 0.752 * 6.23 = 4.68 \approx 5m$$

- **Propuesta:**

Usar longitudes de *Nails* de **7.0 m** en la mitad superior del muro (tres filas superiores de *Nails*) y **5.0 m** para la mitad inferior del muro (dos filas inferiores) con **15 cm** de diámetro de perforación e inyectado con *grout* a gravedad.

- **DISEÑO DE LA PLACA**

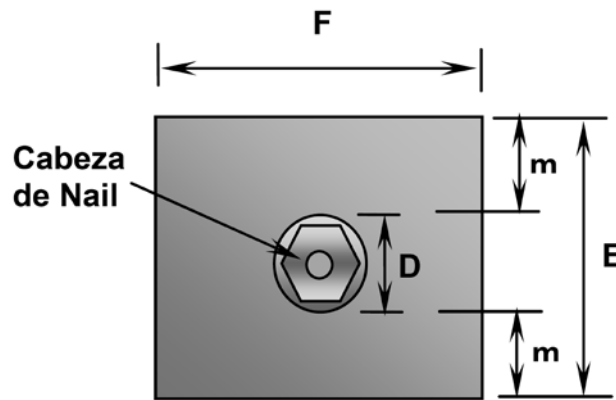


FIGURA N°5.52. Placa de reacción del *Soil Nailing*
FUENTE: Diseño de acero estructural, JOSEPH E. BOWLES, 1993.

- *Diámetro del Nail:* 22.0 mm
- *Utilizar tuerca grado B, con un diámetro de 1 5/16" = 33.34 mm y un espesor de 19 mm.*
- *Utilizar arandela biselada de 5°, con un diámetro externo de 50.8 mm ≈ 60.0 mm.*
- *Fuerza de tensión en el nail:* 133.65 KN ≈ 135 KN (TNN)
- *Grado de la placa:* 36 ($f_y = 250$ MPa)

Entonces, determinamos el área crítica de la placa cuadrada, evitando el aplastamiento del concreto:

$$A_{crit} = \frac{T_{NN}}{350f_c}$$

$$A_{crit} = \frac{81.92}{350 * 21}$$

$$A_{crit} = \mathbf{0.0111 m^2}$$

$$A_{crit} = (D + 2m)(D + 2m)$$

$$0.0111 = (0.06 + 2m)(0.060 + 2m)$$

$$m = 0.02$$

$$E = F = 2m + D$$

$$E = 2 * 0.02 + 0.06$$

$$E = \mathbf{0.10 m = 10 cm}$$

Considerando que la placa es cuadrada (Ver Figura N°5.52), esta no debe tener menos de **10 cm** de lado, por lo tanto, se utilizará una placa de **20 cm** de lado, teniendo lo siguiente:

$$E = F = 2m + D$$

$$20 = 2 * m + 0.06$$

$$m = 9.97 \text{ cm}$$

Entonces, el área de la placa se calcula de la siguiente manera:

$$A_p = E * F = (0.20 * 0.20)$$

$$A_p = \mathbf{0.4m^2}$$

Posteriormente, calculamos el momento flector generado en la placa de apoyo por la reacción del concreto:

$$M = \left(\frac{T_{NN}}{A_p} \right) \left(\frac{m^2}{2} \right)$$

$$M = \left(\frac{0.08172}{0.4} \right) \left(\frac{0.0997^2}{2} \right)$$

$$M = 0.010 \text{ KN.m}$$

Una vez ha sido determinado el momento del *cantiliver* de la placa, se debe obtener el espesor de la placa, el cual no debe ser menor a **19 mm**:

$$t_p = \sqrt{\left(\frac{6M}{F_b} \right)} = \sqrt{\left(\frac{6M}{0.75 * f_y} \right)}$$

$$t_p = \sqrt{\left(\frac{6 * 0.01}{0.75 * 250} \right)}$$

$$t_p = 0.018m = 25mm$$

- **El espesor de la placa es de 25 mm**

Además se evaluó los modos de falla en las pantallas tanto en la de carácter temporal considerando un espesor de 10 cm, como en la de carácter permanente con un espesor de 15 cm, haciendo uso de las hojas de cálculo de “*Análisis y Diseño de Estructuras de Retención de Aplicación Reciente en El Salvador*”, Universidad de El Salvador tal como se detalla continuación:

REVISIÓN DE MODOS DE FALLA EN PANTALLA DE REVESTIMIENTO EN DIRECCIÓN VERTICAL

MODO DE FALLA POR FLEXIÓN EN PANTALLA TEMPORAL

DATOS DE PANTALLA TEMPORAL Y SEPARACIÓN DE LOS NAILS

ESPESOR PROPUESTO DE PANTALLA DE REVESTIMIENTO, t_f (mm)	100.00
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO, f'_c (MPa)	21.00
ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO PARA LA PANTALLA, f_y (MPa)	420.00
ANCHO DE ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DE CONCRETO REFORZADO, b (m)	1.50
PERALTE EFECTIVO DE LA SECCIÓN DE CONCRETO REFORZADO, d_e (mm)	50.00
SEPARACIÓN VERTICAL ENTRE NAILS, S_v (mm)	1,500.00
SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE NAILS, S_h (mm)	1,500.00

PROPUESTA DE ACERO DE REFUERZO PRINCIPAL EN CABEZA DE NAIL Y CLAROS

DESIGNACIÓN DE MALLA DE ALAMBRE (SISTEMA MÉTRICO)	ÁREA DE ACERO POR UNIDAD DE LONGITUD (mm^2)	NÚMERO DE MALLAS A USAR	ÁREA TOTAL DE ACERO DE MALLA EN ANCHO DE ANÁLISIS (mm^2)
152x152-MW 19 x MW 19	122.80	1.00	184.20

ACERO PARA BASTONES UBICADOS EN LA CABEZA DEL NAIL

DESIGNACIÓN DE BARRA EN SISTEMA MÉTRICO	ÁREA DE ACERO DE BARRA (mm^2)	NÚMERO DE BARRAS A USAR	ÁREA TOTAL DE ACERO DE BASTONES (mm^2)
N°13	129.00	2.00	258.00

AREAS TOTALES DE ACERO DE REFUERZO EN LA PANTALLA TEMPORAL

ÁREA TOTAL DE ACERO POSITIVO (mm^2)	ÁREA TOTAL DE ACERO NEGATIVO (mm^2)
184.20	442.20

LIMITES DEL ACERO DE REFUERZO EN PANTALLA TEMPORAL

ACERO DE REFUERZO MÍNIMO, $A_{S\text{MIN}}$ (mm^2)	39.29
---	-------

ACERO DE REFUERZO MÁXIMO, $A_{S\text{MAX}}$ (mm^2)	1195.31
---	---------

ACERO DE REFUERZO POSITIVO	ACERO OK
----------------------------	----------

ACERO DE REFUERZO NEGATIVO	ACERO OK
----------------------------	----------

CÁLCULO DE MOMENTOS RESISTENTES EN LA PANTALLA TEMPORAL

MOMENTO RESISTENTE POSITIVO M_{pos} (KN-m/m)	MOMENTO NEGATIVO RESISTENTE M_{neg} (KN-m/m)
2.50	5.76

FACTOR DE PRESIÓN POR FLEXIÓN, C_f	2.00
--------------------------------------	------

FACTOR DE PRESIÓN POR FLEXIÓN PARA PANTALLAS TEMPORALES	
ESPESOR NOMINAL (mm)	C_f
100	2.00
120	1.70
150	1.50
200	1.00

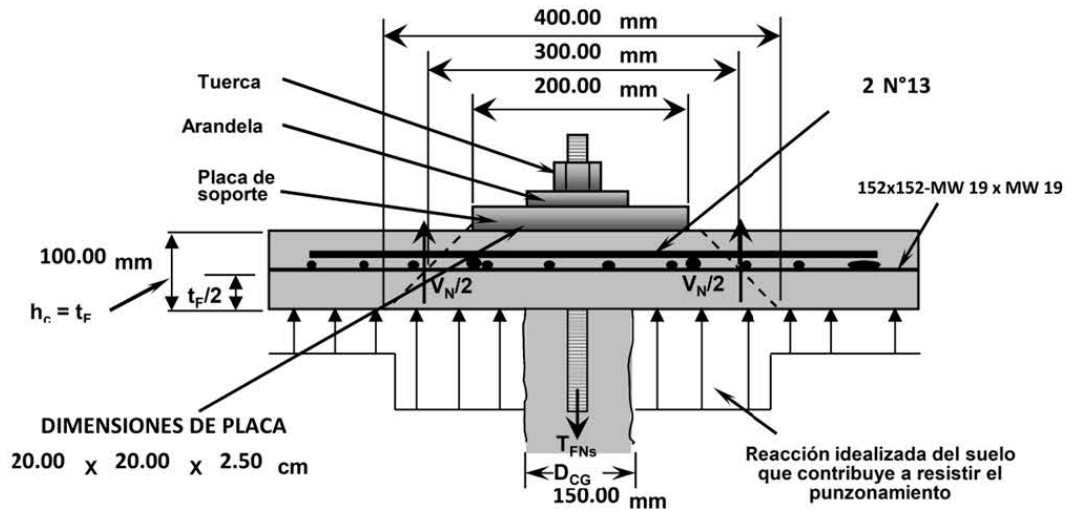
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL

RESISTENCIA NOMINAL A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Fnf} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Ff} (KN)
132.25	119.03

MODO DE FALLA POR PUNZONAMIENTO EN PANTALLA TEMPORAL

DATOS DE DISEÑO

LONGITUD DE LA PLACA DE APOYO, L_p (mm)	200.00
ESPESOR DE LA PLACA DE APOYO, t_p (mm)	25.00
ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE LA PLACA DE APOYO, f_y (MPa)	250.00
DIÁMETRO DEL AGUJERO DEL NAIL (COLUMNA DE GROUT), D_g (mm)	150.00



GEOMETRÍA DEL CONO DE PUNZONAMIENTO

ALTURA, $h_c = t_F$ (mm)	DIÁMETRO TOTAL D_c (mm)	DIÁMETRO EFECTIVO, D'_c (mm)	RESISTENCIA NOMINAL A CORTANTE DEL CONCRETO, V_N (KN)
100.00	400.00	300.00	142.53

DESEA TOMAR EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DEL SUELO?

NO

FACTOR DE PRESIÓN POR CORTANTE, C_s

2.50

FACTOR DE PRESIÓN POR CORTANTE PARA PANTALLAS TEMPORALES

ESPESOR NOMINAL (mm)	C_s
100	2.50
120	2.20
150	2.00
200	1.00

FACTOR DE CORRECCIÓN POR CORTANTE, C_p

1.00

RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL

RESISTENCIA NOMINAL AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{FNs} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Fs} (KN)
142.53	128.27

REVISIÓN DE MODOS DE FALLA EN PANTALLA DE REVESTIMIENTO EN DIRECCIÓN VERTICAL

MODO DE FALLA POR FLEXIÓN EN PANTALLA PERMANENTE

DATOS DE PANTALLA PERMANENTE Y SEPARACIÓN DE LOS NAILS

ESPESOR PROPUESTO DE PANTALLA DE REVESTIMIENTO, t_f (mm)	150.00
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO, f'_c (MPa)	21.00
ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO, f_y (MPa)	420.00
ANCHO DE ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DE CONCRETO REFORZADO, b (m)	1.50
PERALTE EFECTIVO DE LA SECCIÓN DE CONCRETO REFORZADO, d_e (mm)	75.00
SEPARACIÓN VERTICAL ENTRE NAILS, S_v (mm)	1,500.00
SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE NAILS, S_H (mm)	1,500.00

PROPUESTA DE ACERO DE REFUERZO PRINCIPAL EN CABEZA DE NAIL Y CLAROS

DESIGNACIÓN DE BARRA EN SISTEMA MÉTRICO	ÁREA DE ACERO DE BARRA (mm^2)	SEPARACIÓN PROPUESTA ENTRE BARRAS, S (mm)	ÁREA TOTAL DE ACERO EN ANCHO DE ANÁLISIS (mm^2)
N°13	129.00	300.00	645.00

ÁREAS TOTALES DE ACERO DE REFUERZO EN LA PANTALLA PERMANENTE

ÁREA TOTAL DE ACERO POSITIVO (mm^2)	ÁREA TOTAL DE ACERO NEGATIVO (mm^2)
645.00	645.00

LÍMITES DEL ACERO DE REFUERZO EN PANTALLA PERMANENTE

ACERO DE REFUERZO MÍNIMO, $A_{S\text{MIN}}$ (mm^2)	245.50
---	--------

ACERO DE REFUERZO MÁXIMO, $A_{S\text{MAX}}$ (mm^2)	1792.97
---	---------

ACERO DE REFUERZO POSITIVO	ACERO OK
----------------------------	----------

ACERO DE REFUERZO NEGATIVO	ACERO OK
----------------------------	----------

CÁLCULO DE MOMENTOS RESISTENTES EN LA PANTALLA PERMANENTE

MOMENTO RESISTENTE POSITIVO M_{pos} (KN-m/m)	MOMENTO NEGATIVO RESISTENTE M_{neg} (KN-m/m)
12.63	12.63

FACTOR DE PRESIÓN POR FLEXIÓN, C_f	1.00
--------------------------------------	------

FACTOR DE PRESIÓN POR FLEXIÓN PARA PANTALLAS PERMANENTES

ESPESOR NOMINAL (mm)	C_f
100	1.00
120	1.00
150	1.00
200	1.00

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL

RESISTENCIA NOMINAL A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{FNf} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO A LA FLEXIÓN EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Ff} (KN)
202.10	181.89

MODO DE FALLA POR PUNZONAMIENTO EN PANTALLA PERMANENTE

DATOS DE DISEÑO	
LONGITUD DE LA PLACA DE APOYO, L_p (mm)	200.00
ESPESOR DE LA PLACA DE APOYO, t_p (mm)	25.00
ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE LA PLACA DE APOYO, f_y (MPa)	250.00
DIÁMETRO DEL AGUJERO DEL NAIL (COLUMNA DE GROUT), D_a (mm)	150.00

PROPIEDADES DEL SISTEMA DE PERNOS PARA EL DISEÑO	ASTM A	307
TAMAÑO DEL PERNO	7/8 x 4 3/16	
LONGITUD NOMINAL DEL PERNO, L_{pe} (mm)	102.00	
DIÁMETRO DE LA CABEZA DEL PERNO, D_{cpe} (mm)	34.90	
DIÁMETRO DEL EJE DEL PERNO, D_{epe} (mm)	22.20	
ESPESOR DE LA CABEZA DEL PERNO, t_{cpe} (mm)	9.50	
ESFUERZO DE FLUENCIA DE LOS PERNOS, f_y (MPa)	420.00	
NÚMERO DE PERNOS A UTILIZAR, N_{pe}	4.00	
SEPARACIÓN PROPUESTA ENTRE PERNOS, S_{pe} (mm)	125.00	

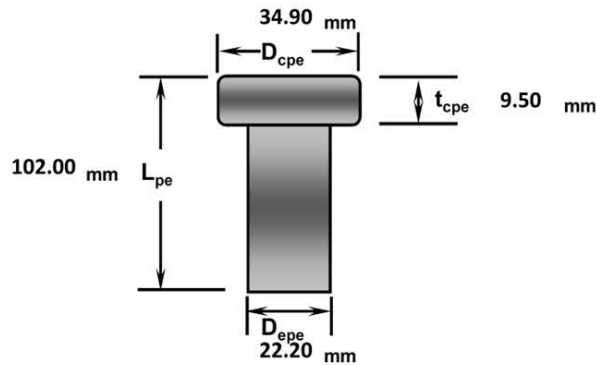
REVISIÓN DE RELACIONES GEOMÉTRICAS DE LOS PERNOS PARA EVITAR ESFUERZOS DE COMPRESIÓN EXCESIVOS EN EL CONCRETO

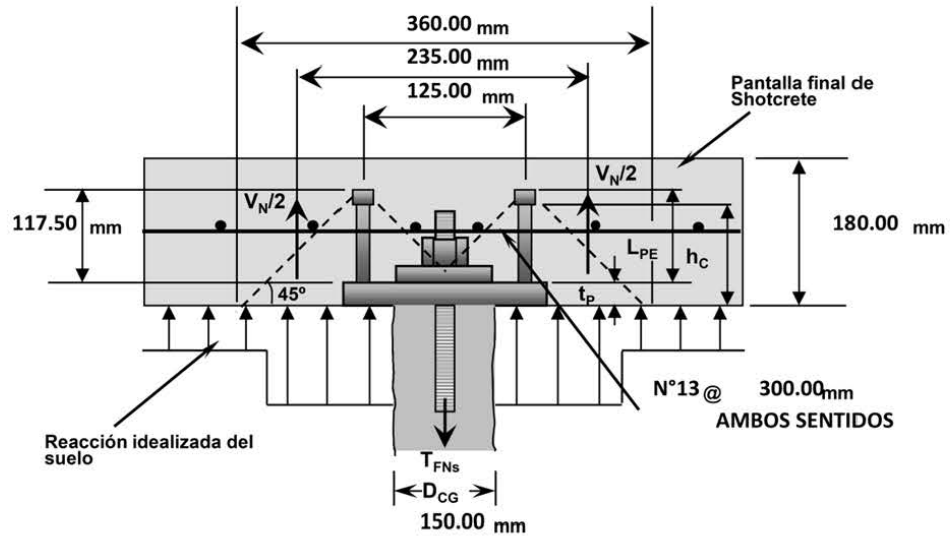
$$A_{cpe} \geq 2.5 A_{epe}$$

A_{cpe} (mm ²)	A_{epe} (mm ²)	A_{cpe}/A_{epe}	REVISIÓN DEL SISTEMA DE PERNOS PROPUESTO
956.62	387.08	2.5	OK

$$t_{cpe} \geq 0.5(D_{cpe} - D_{epe})$$

$D_{cpe} - D_{epe}$ (mm)	$0.5(D_{cpe} - D_{epe})$ (mm)	REVISIÓN DEL SISTEMA DE PERNOS PROPUESTO
12.70	6.35	OK





GEOMETRIA DEL CONO DE PUNZONAMIENTO			
ALTURA, h_c (mm)	DIÁMETRO TOTAL D_c (mm)	DIÁMETRO EFECTIVO, D'_c (mm)	RESISTENCIA NOMINAL A CORTANTE DEL CONCRETO, V_N (KN)
117.50	360.00	235.00	131.18

DESEA TOMAR EN CUENTA LA CONTRIBUCIÓN DEL SUELO?	NO
--	----

FACTOR DE PRESIÓN POR CORTANTE, C_s	1.00
--	------

FACTOR DE PRESIÓN POR CORTANTE PARA PANTALLAS PERMANENTES	
ESPESOR NOMINAL (mm)	C_s
100	1.00
120	1.00
150	1.00
200	1.00

FACTOR DE CORRECCIÓN POR CORTANTE, C_p	1.00
--	------

RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL	
RESISTENCIA NOMINAL AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{FNs} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO AL PUNZONAMIENTO EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Fs} (KN)
131.18	118.07

MODO DE FALLA POR TENSION EN PERNOS DE CONEXIÓN

RESISTENCIA A LA TENSION EN LOS PERNOS EN LA CABEZA DEL NAIL	
RESISTENCIA NOMINAL A LA TENSION EN LOS PERNOS EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Fnt} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO A LA TENSION EN LOS PERNOS EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{Ft} (KN)
650.29	435.69

REVISIÓN DE RESISTENCIA QUE CONTROLA EL DISEÑO

GEOMETRÍA DEL MURO	
ALTURA DEL MURO, H (m)	7.50
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO, Φ (°)	29.00°
ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL RELLENO O CRESTA, β (°)	0.00°
ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA PANTALLA, θ (°)	10.00°
ÁNGULO DE FRICCIÓN EN INTERFAZ SUELO-MURO, δ (°)	15.50°
PESO VOLUMÉTRICO DEL SUELO, γ (KN/m ³)	14.71
SEPARACIÓN VERTICAL ENTRE NAILS, S_V (mm)	1.50
SEPARACIÓN HORIZONTAL ENTRE NAILS, S_H (mm)	1.50
FACTOR DE CARGA DE SERVICIO, F_F	0.50
FACTOR DE CARGA AASHTO POR PRESIÓN HORIZONTAL, Γ_{EH}	1.50

COEFICIENTE ACTIVO DE PRESIÓN DE TIERRAS DE COULOMB, K_A	0.3900
--	---------------

CARGA MÍNIMA DE SERVICIO ESPERADA EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{\min} (KN)	48.40
--	--------------

CARGA DE SERVICIO MAYORIZADA EN LA CABEZA DEL NAIL, $\Gamma_{EH} T_{\min}$ (KN)	72.60
---	--------------

$$T_{\min} = \Gamma_{EH} F_F K_A \gamma H S_H S_V$$

$$\Gamma_{EH} T_{\min} = F_F K_A \gamma H S_H S_V$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

CUADROS RESUMEN DE RESISTENCIAS EN LA CABEZA DEL NAIL

EVALUACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA EN LA PANTALLA TEMPORAL DE REVESTIMIENTO DEL MURO		
MODO DE FALLA	RESISTENCIA NOMINAL EN LA CABEZA DEL NAIL, T_{FN} (KN)	RESISTENCIA DE DISEÑO EN LA CABEZA DEL NAIL, T_F (KN)
FLEXIÓN	132.25	119.03
PUNZONAMIENTO	142.53	128.27

EVALUACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA EN LA PANTALLA PERMANENTE DE REVESTIMIENTO DEL MURO		
FLEXIÓN	202.10	181.89
PUNZONAMIENTO	131.18	118.07
TENSION	650.29	435.69

RESISTENCIA QUE CONTROLA EL DISEÑO, T_F (KN)	118.07
CARGA DE SERVICIO MAYORIZADA EN LA CABEZA DEL NAIL, $\Gamma_{EH} T_{min}$ (KN)	72.60

REVISIÓN DE LA RESISTENCIA EN LA CABEZA DEL NAIL EN LA PANTALLA DE REVESTIMIENTO
LA RESISTENCIA DE LA PANTALLA ES ADECUADA

- **ESTABILIDAD GLOBAL DEL MURO SOIL NAIL**

- Se evaluó la estabilidad global del muro considerando las longitudes de los *Nails*, obtenidos del predimensionamiento de 7.0 m en la mitad superior del muro (tres filas superiores de *Nails*) y 5.0 m para la mitad inferior del muro (dos filas inferiores).
- Se minorizaron los valores de resistencia de adherencia, del acero y al punzonamiento en la cabeza del *Nail*, utilizando los factores 0.67, 0.73 y 0.89, respectivamente, Tomados en base a tablas N°4.3, N°4.4 y N°4.5 del *Manual for Design Construction of Monitoring Soil Nail Wall*, considerando la combinación de carga de las especificaciones de la AASHTO.
 - *Resistencia de adherencia: $70 \text{ KN/m}^2 * 0.67 = 47 \text{ KN/m}^2$*
 - *Resistencia del acero: $420 \text{ MPa} * 0.73 = 306 \text{ MPa}$*
 - *Punzonamiento en la cabeza del nail: $118.07 \text{ KN} * 0.89 = 105 \text{ KN}$*

Los factores de seguridad obtenidos en la modelación del muro *Soil Nail*, superan los requeridos por la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”. Por lo que se realizará otra propuesta de longitud de varillas para determinar el comportamiento del muro, ya que el factor de 2.36 y 1.78 en condiciones estáticas y pseudoestáticas, se consideran elevados según los requeridos por la norma de 1.40 y 1.10 respectivamente.

- Se evaluó la estabilidad global del muro considerando las longitudes de los *Nails*, obtenidos del predimensionamiento de 5.0 m en la mitad superior del muro (tres

filas superiores de *Nails*) y 4.0 m para la mitad inferior del muro (dos filas inferiores).

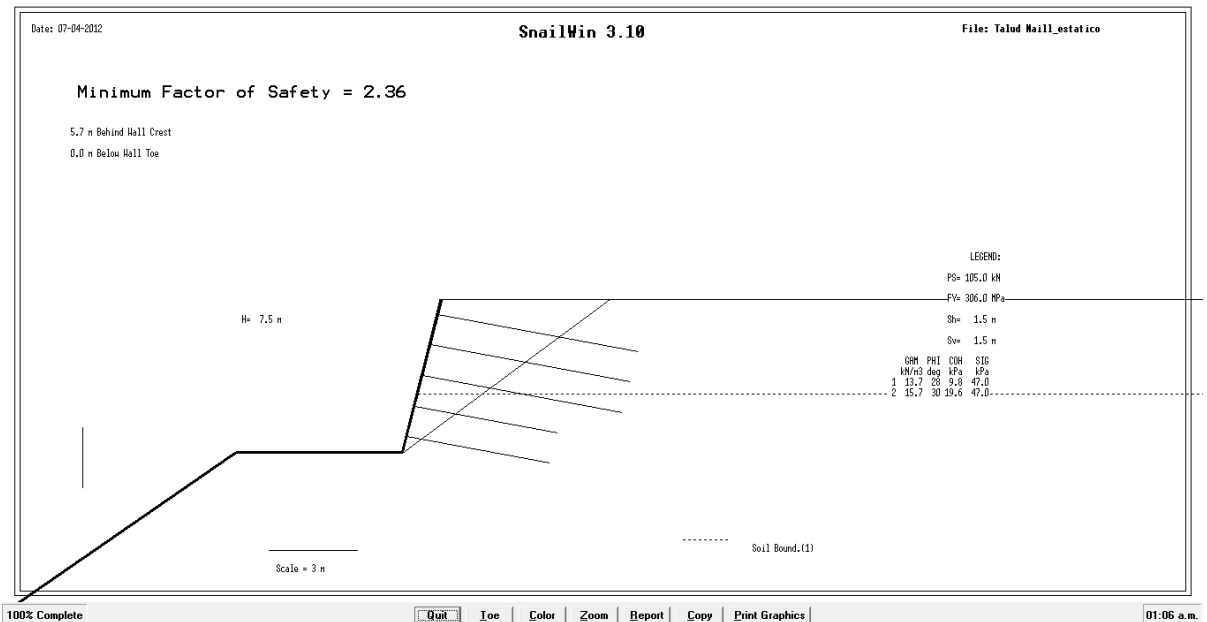


FIGURA N°5.53: Factor de seguridad del talud reforzado con *Nail* en condición estática.

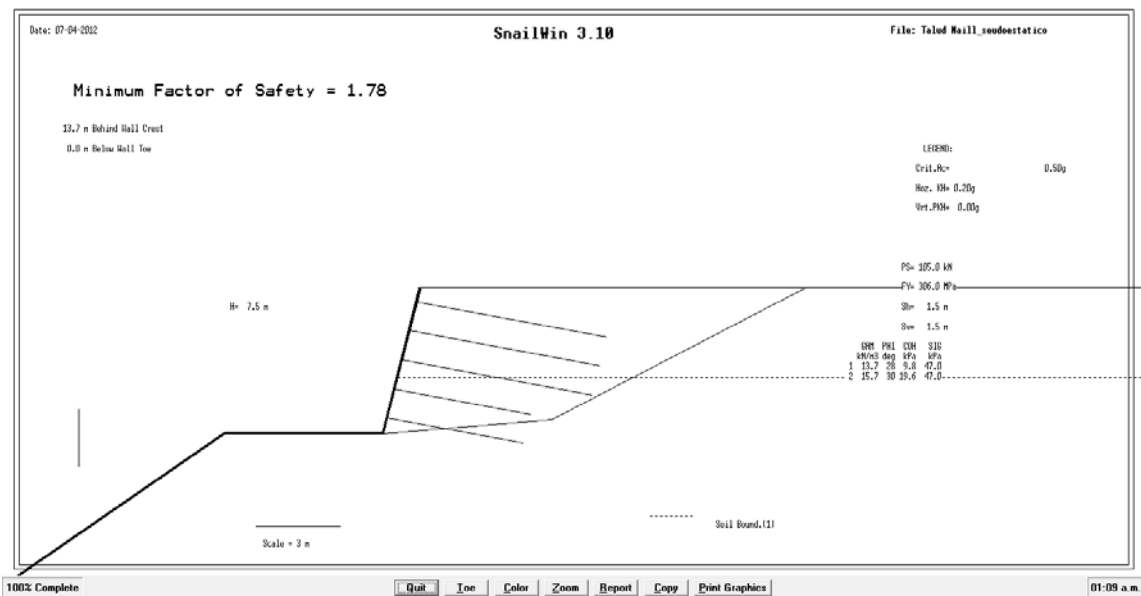


FIGURA N°5.54: Factor de seguridad del talud reforzado con *Nail* en condición pseudoestática.

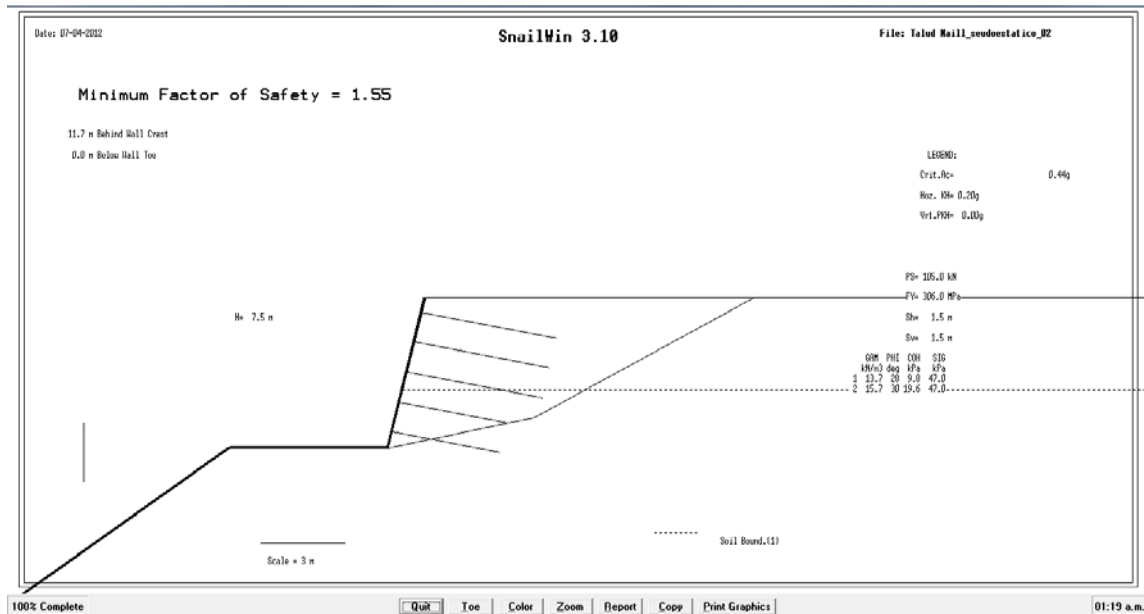


FIGURA N°5.55: Factor de seguridad del talud reforzado con *Nail* en condición seudoestática.

Se realizó únicamente la modelación en condición seudoestática considerando que es la situación más desfavorable, el factor de seguridad obtenido supera el requerido por la norma local, por lo tanto el muro es estable al disminuir las longitudes de los *Nails* a 5.0 m en la mitad superior del muro (tres filas superiores de *Nails*) y 4.0 m para la mitad inferior del muro (dos filas inferiores).

El muro *Soil Nail* debe contar con un sistema de drenaje que garantice evacuar el agua infiltrada²⁹, el drenaje en la cara del muro es el tipo más utilizado y consiste en la instalación vertical de tiras de geocompuesto desde la parte alta del muro hasta el fondo de manera descendente. Las tiras de drenaje tienen un ancho que varía de 30 cm a 45 cm y son centradas entre cada columna de *Nails*. Las tiras son conectadas a tuberías de desagüe (lloraderos) y al drenaje en el pie del muro (Ver Figura N°5.56 a). Estas tiras de drenaje son utilizados cuando la cantidad de agua presentes o anticipadas

²⁹“Análisis y Diseño de estructuras de Retención de aplicación reciente en el Salvador”, Universidad de El Salvador, Capítulo II, Pág. 52.

son pequeñas. Con este tipo de drenajes se pretende recolectar el agua y conducirla hasta el fondo del muro mientras la construcción de éste progresa. Existen otros tipos de sistemas de drenaje y en nuestro país El Salvador se usa comúnmente el sistema de lloraderos, que consiste en la utilización de tuberías de PVC (generalmente de 4") con una sección ranurada y que están embebidas en el suelo y que sobresalen de la pantalla de revestimiento, de tal manera que el agua entre en la sección ranurada y salga por fuera de la cara del muro (Ver Figura N°5.56 b). También se deben usar drenajes superficiales en la corona y el pie del muro conformados por canaletas colectoras de agua producto de la escorrentía.

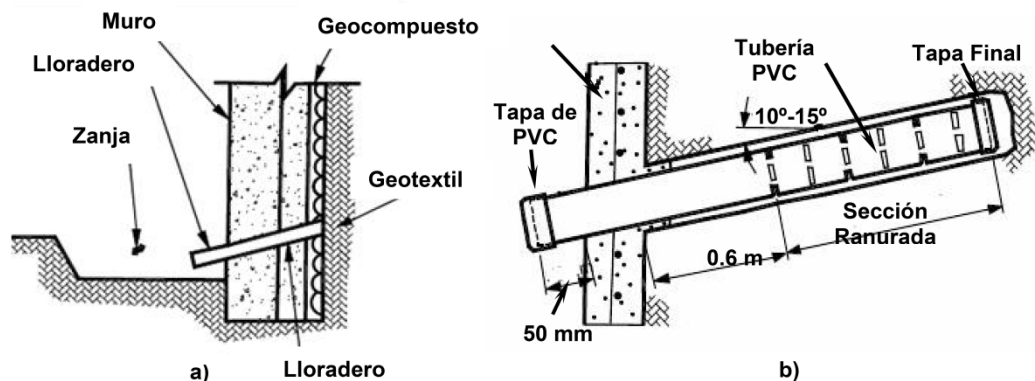


FIGURA N°5.56: a) Lloradero de PVC en drenaje de pie; b) Lloradero de PVC en la cara del muro.
FUENTE: Deslizamientos, Técnicas de Remediación, Cap. 5, Jaime Suárez, 2008.

5.5.2.7 OBRAS DE CONTENCIÓN

- **Cálculo de la estabilidad del muro Gavión**

Para el diseño del muro gavión se considerará:

- Roca que cumpla con un peso específico mínimo de 23.54 kN/m³
- Para cada Gavión Caja se le considerará una porosidad de los gaviones de 30%.

- Se considerará geotextil en terraplén, lo cual disminuirá la fricción entre el suelo del terraplén y el muro gavión en un 10 %.
- Se considerará geotextil en la base del muro, reduciendo la fricción entre el suelo de la base y el muro gavión en un 10 %.
- El muro gavión se inclinará 6° con respecto a la vertical y en dirección al terraplén.
- Se utilizarán escalones externos (Figura N°5.57) porque desde el punto de vista estático las estructuras con escalonamiento externo resultan más estables.

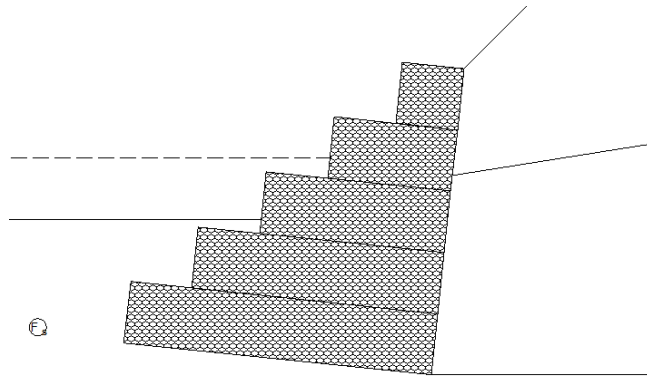


FIGURA N°5.57: Esquema del Diseño de Muro de Gaviones.

Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diversos tipos de rotura.

1. Rotura Global

En el análisis de Estabilidad Global se verifica la ruptura a lo largo de una superficie circular en el interior del macizo que contorna el muro de gaviones. Esta ruptura atraviesa, de esta forma, tanto el suelo a la derecha de la estructura como el suelo de fundación y el macizo a la izquierda del muro.

El cálculo del coeficiente de seguridad asociado a la superficie de ruptura es hecho por el Método de Bishop Simplificado. Los resultados del análisis incluyen el coeficiente de seguridad contra ruptura, la posición del centro y el radio del arco que este coeficiente de seguridad se refiere y el número de arcos analizados.

<i>Centro del arco con referencia al eje X</i>	<i>2.41 m</i>
<i>Centro del arco con referencia al eje Y</i>	<i>46.85 m</i>
<i>Radio del arco</i>	<i>48.39 m</i>
<i>Número de superficies analizadas</i>	<i>44</i>
<i>Coefficiente de Seguridad Contra la Ruptura Global</i>	<i>1.81</i>

Coefficiente de Seguridad contra ruptura global = 1.81 > 1.1 ← Ok

2. Deslizamiento

El valor del coeficiente de seguridad contra el deslizamiento es determinado como la relación entre el valor de la resistencia disponible y el valor de la resistencia movilizada contra el deslizamiento. La resistencia disponible es tomada como la suma de las resistencias a lo largo de la base y la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento. La resistencia al deslizamiento es dada por la componente del empuje pasivo.

<i>Empuje Activo</i>	<i>Ea</i>	<i>875.98 kN/m</i>
<i>Empuje Pasivo</i>	<i>Ep</i>	<i>811.46 kN/m</i>
<i>Factor de Seguridad Contra</i>	<i>Fd</i>	<i>1.93</i>
<i>Deslizamiento</i>		

Coefficiente de Seguridad contra deslizamiento = 1.93 > 1.2 ← Ok

3. Verificación Contra Vuelco

El coeficiente de seguridad contra vuelco es calculado como la relación entre el momento resistente total y el momento total de vuelco. El momento de vuelco es tomado como el momento de la componente horizontal del empuje activo actuante, entretanto que el momento resistente es el tomado como la suma de los momentos del peso propio de la estructura y del empuje pasivo.

- Momento Activo (Volcador)

Valor del momento que actúa en contra la estabilidad, tomado con referencia al fulcro de la estructura (ángulo inferior izquierdo de la base del muro).

- Momento Resistente (Estabilizante)

Suma de los momentos generado por el empuje pasivo, peso de la estructura y posibles cargas que actúan sobre el muro.

- Factor de Seguridad

Valor del coeficiente de seguridad contra el vuelco de la estructura.

<i>Momento Activo</i>	<i>Ma</i>	1786.32 kN/m
<i>Momento Resistente</i>	<i>Mp</i>	3481.06 kN/m
<i>Factor de Seguridad Contra Vuelco</i>	<i>Fv</i>	1.95

$$Fv = \frac{Mp}{Ma} > 1.2 \leftarrow Ok$$

$$Fv = \frac{1786.32}{3481.06}$$

$$\text{Coeficiente de Seguridad contra vuelco} = 1.95 > 1.2 \leftarrow Ok$$

4. Presiones en la Fundación

El valor de las presiones actuantes en la fundación debe ser comparado con la máxima presión admisible.

- **Tensión Izquierdo – Tensión en el extremo externo.**

El valor de la tensión normal actuando en el límite externo (izquierdo) de la base de la estructura.

- **Lado derecho – Tensión en el extremo interno.**

El valor de la tensión normal actuando en el límite interno (derecho) de la base de la estructura.

- **Máxima Presión Aceptable.**

La máxima presión normal que el suelo de fundación puede soportar.

<i>Excentricidad</i>	<i>e</i>	<i>0.24 m</i>
<i>Tensión Normal a la izquierda</i>	<i>q1</i>	<i>195.73 kN/m²</i>
<i>Tensión Normal a la derecha</i>	<i>q2</i>	<i>105.51 kN/m²</i>
<i>Máxima Tensión Aceptable</i>	<i>qmax</i>	<i>245 kN/m²</i>

Verificación del Tercio Medio:

$$\frac{L}{6} = \frac{6}{6} = 1.00 \text{ m} \quad \leftarrow \text{Tercio medio}$$

$$e = 0.24 < \frac{L}{6} = 1.00 \quad \leftarrow \text{Ok (Cae dentro)}$$

Entonces la resultante cae dentro del tercio medio de la base del muro, por tanto la distribución de esfuerzos en el suelo es como muestra la figura N°5.58:

$$q1 = 195.73 \frac{kN}{m^2} < 245 \frac{kN}{m^2} \quad \leftarrow \text{Ok}$$

$$q_2 = 105.51 \frac{kN}{m^2} < 245 \frac{kN}{m^2} \quad \leftarrow \quad Ok$$

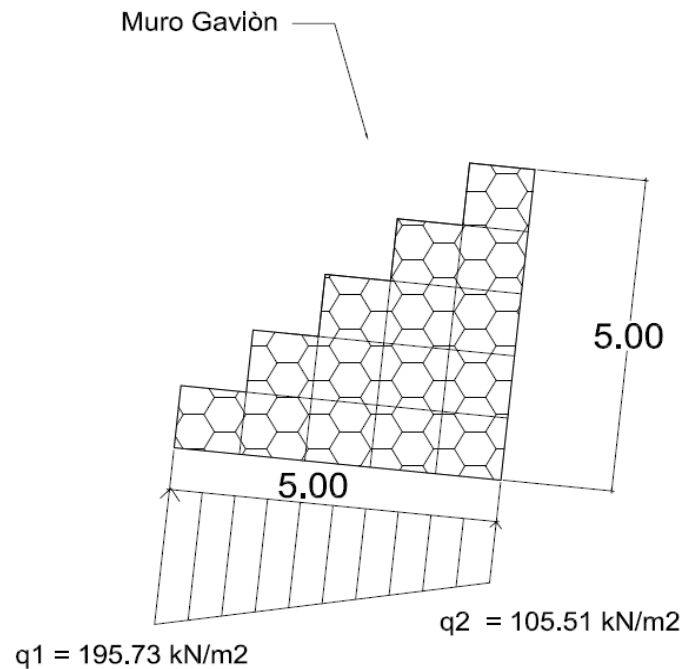


FIGURA N°5.58: Distribución de presiones en la fundación del Muro Gavión.

Como obra complementaria se proyectará un colchón reno con un espesor de 30 cm, en la base del muro gavión para proteger las cimentaciones de la estructura a procesos de socavación.

Las dimensiones estándares de dicho elemento oscilan entre:

- Largo: 3.00 m – 6 m
- Ancho: 2.00 m
- Altura: 0.17 m, 0.23 m, y 0.30 m

Para nuestro caso se proyectaron colchones renos modulados con dimensiones de 6 m de largo, 2 m de ancho y 0.30 m de alto, ubicados en fondo del cauce para evitar

socavación en la fundación del muro propuesto, tal como se muestra en la Figura N°5.59.

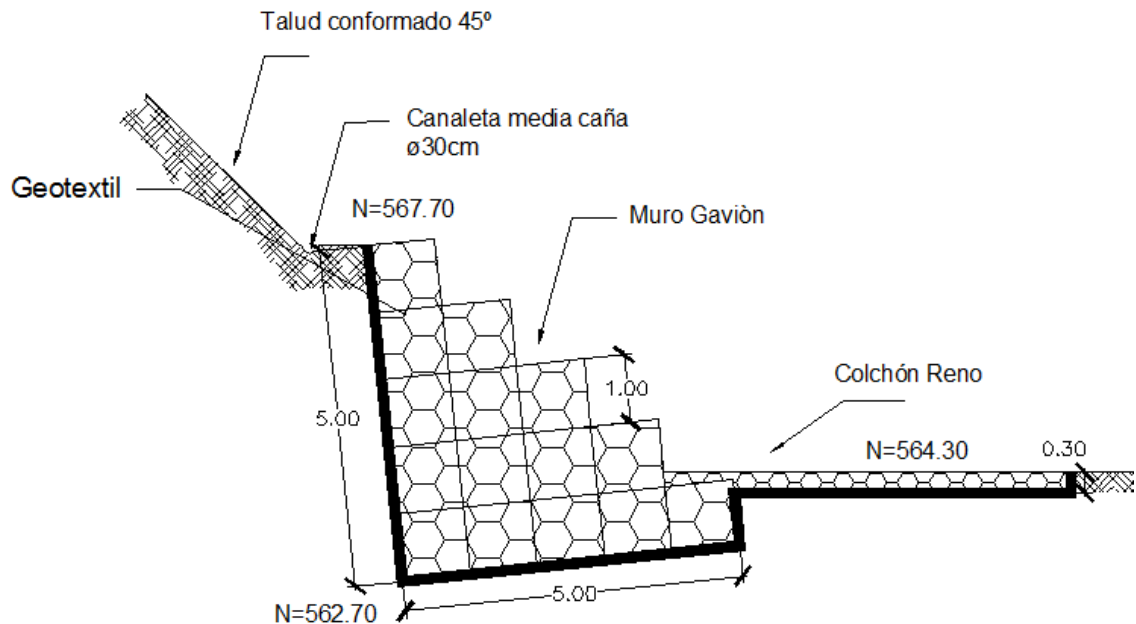


FIGURA N°5.59: Detalle del muro gaviòn, propuesto en la Alternativa de Soluciòn N°2, sin escala.

5.5.2.8 OBRAS COMPLEMENTARIAS

- **Cerco Perimetral**

Con el objetivo de aislar la obra con el medio que lo rodea, se recomienda un muro perimetral para evitar alteraciones por el ingreso de personas o animales a la zona donde se proyectarán las obras de mitigaciòn.

Las dimensiones del muro perimetral propuesto corresponden a las mostradas en la Figura N°5.60, donde se puede observar que la altura del cerco es de 2.50 m constituido de postes de concreto, malla ciclòn y alambre de púas.

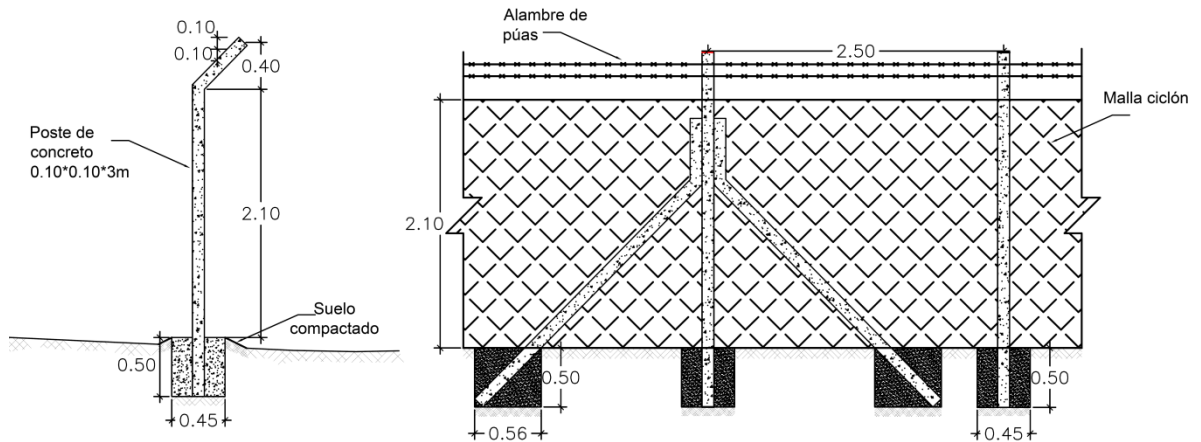


FIGURA N°5.60: Detalle del cerco perimetral, sin escala.

- **Muro Guardanivel**

El problema de socavación en cauces de quebradas y ríos es evidente en la zona de análisis (tanto en los laterales como en el fondo), donde se puede observar cauces con grandes alturas y en algunos casos los caudales no son proporcionales a dichas dimensiones, sin embargo son suficientes para ir socavando y provocando pérdidas de suelos en los márgenes de cuerpos hídricos. Para minimizar dicho impacto se proyectan en el cauce muros guardaniveles, con la finalidad de mantener el nivel del fondo del cauce, y de esta manera proteger la pendiente del mismo y las fundaciones de las obras proyectadas. Dichos elementos se ubicaran aguas arriba y aguas abajo de las obras de mitigación planteadas.

- **Mantenimiento**

Es muy importante realizar mantenimiento rutinario para extender la vida útil de las obras de mitigación construidas y evitar que daños que pueden ser tratados tempranamente con la mínima inversión se incrementen y puedan significar la pérdida completa o parcial de las obras de mitigación construidas.

5.5.3 PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

La tercera propuesta de solución tiene como objetivo llevar las aguas lluvias de la colonia hacia la descarga final por medio de un derramadero, conduciendo el agua desde el colector hasta la quebrada adyacente, el área intervenida corresponde a la mostrada en la Figura N°5.61. En la presente solución se proyectarán tres pozos de visita, los cuales servirán para descender de nivel el agua antes de ser transferida a las gradas disipadoras de energía. Además, se perfilarán y protegerán los taludes que se encuentran alrededor de los pozos.

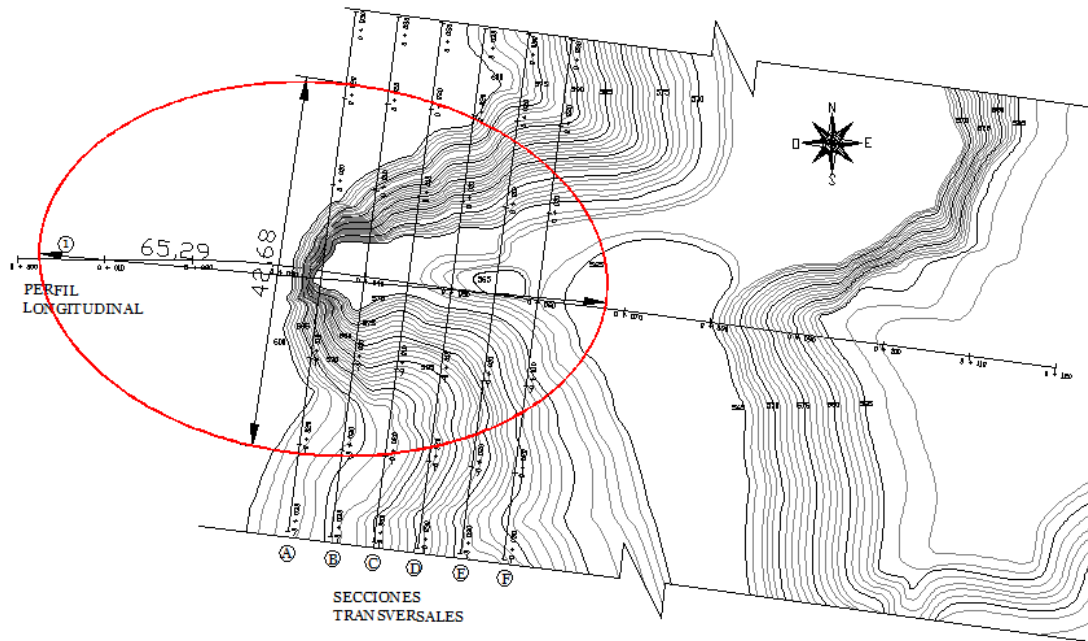


FIGURA N°5.61: Límites del área donde se proyectarán las Obras de la Propuesta de Alternativa de Solución N°3.

Para esta solución se han considerado las características que presenta la Cárcava, es decir, se han tomado en cuenta los estudios básicos que se realizaron en el apartado 5.4, del presente Capítulo.

La Propuesta de Alternativa de Solución N°3 comprende las siguientes obras (Ver Anexo N°10, Planos de Alternativa de Solución N°3):

5.5.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Consiste en el perfilado de taludes, con una inclinación de 45° en el alineamiento de los pozos, estos taludes tendrán alturas de 5.25 m, y se colocarán bermas intermedias de 1.50 m con pendiente longitudinal del 3% y del 5% hacia adentro del talud para la recolección de la escorrentía superficial por medio de una canaleta media caña de 0.30m de diámetro.

- **MODELACIÓN DEL PERFIL DE LA CÁRCAVA**

Se realizó la modelación del diseño de taludes para determinar el factor de seguridad que estos tienen, tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, por medio del programa informático GeoSlope 2007, teniendo en cuenta las consideraciones planteadas en el apartado 5.5.1.1, de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1, utilizando el método de Bishop, obteniendo los siguientes resultados. (Ver Figuras N°5.621 y N°5.63)

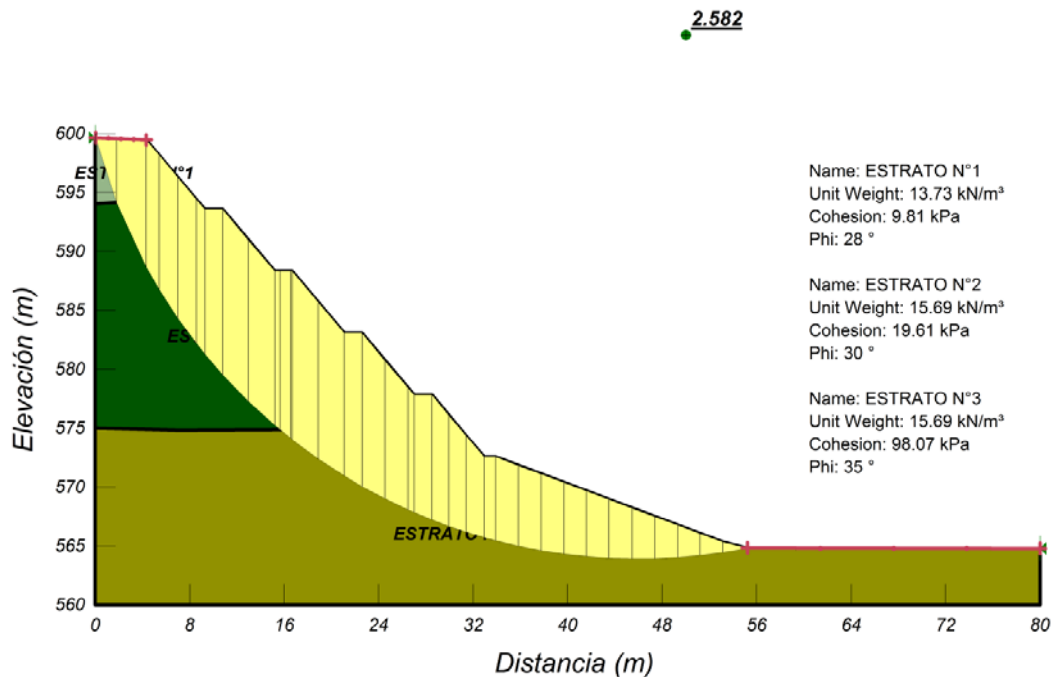


FIGURA N°5.62: Modelación del diseño de taludes del perfil longitudinal, en condiciones estáticas.

Los taludes proyectados son estables ya que alcanzan factores de seguridad de 2.58 y 1.96 superando los requeridos por la “Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes”, estos deben ser mayores que 1.40 y 1.10 en condiciones estáticas y seudoestáticas respectivamente.

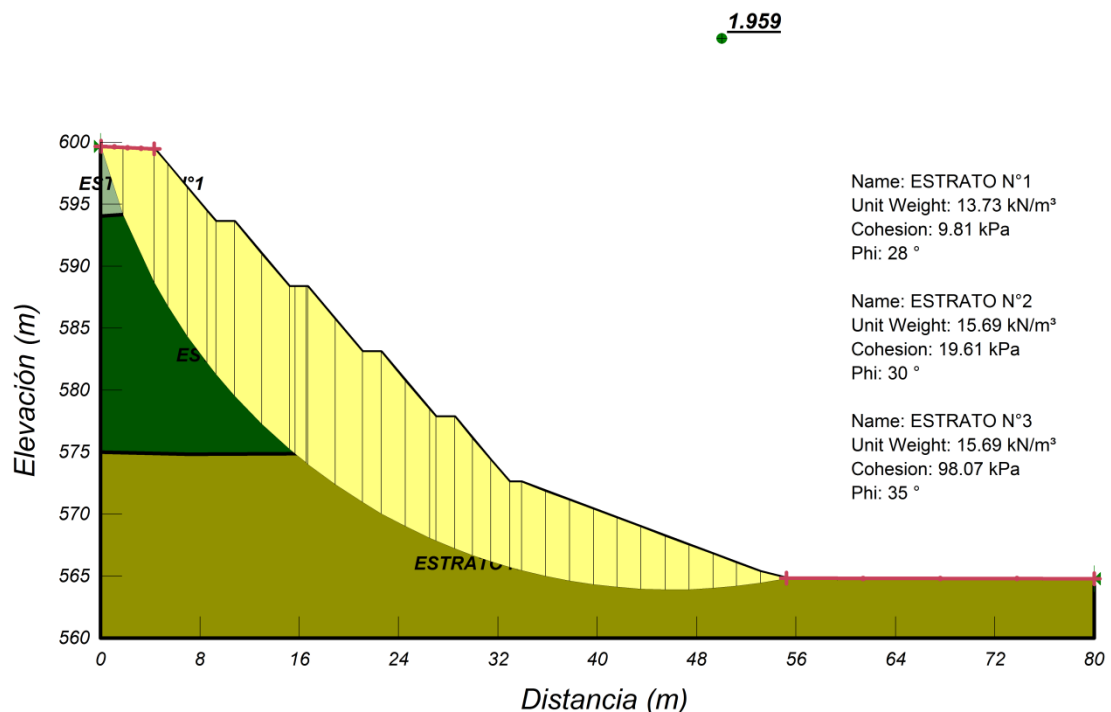


FIGURA N°5.63: Modelación del diseño de taludes del perfil longitudinal, en condiciones seudoestáticas.

- **MODELACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA**

Además en las secciones transversales de la Cárcava se proyectan taludes a 70° con alturas de 5.25 m y bermas intermedias de 1.50 m de ancho con pendiente longitudinal de 3% y de 5% hacia adentro del talud donde se colocará una canaleta media caña. La conformación de taludes a los costados del alineamiento del derramadero se proyecta en forma de olla.

Para determinar la estabilidad que presentan dichos taludes se modelo la sección 0+035 de la Cárcava, en el programa informático GeoSlope 2007 utilizando el método de Bishop, obteniendo los siguientes resultados:

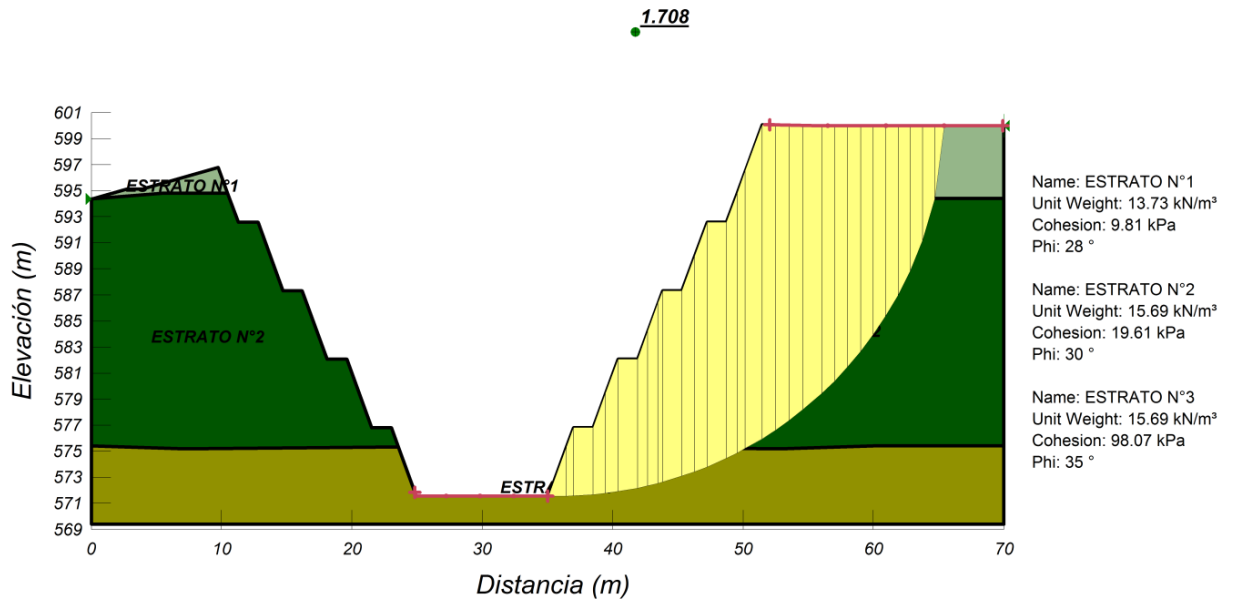


FIGURA N°5.64: Modelación del diseño de taludes transversales, en condiciones estáticas.

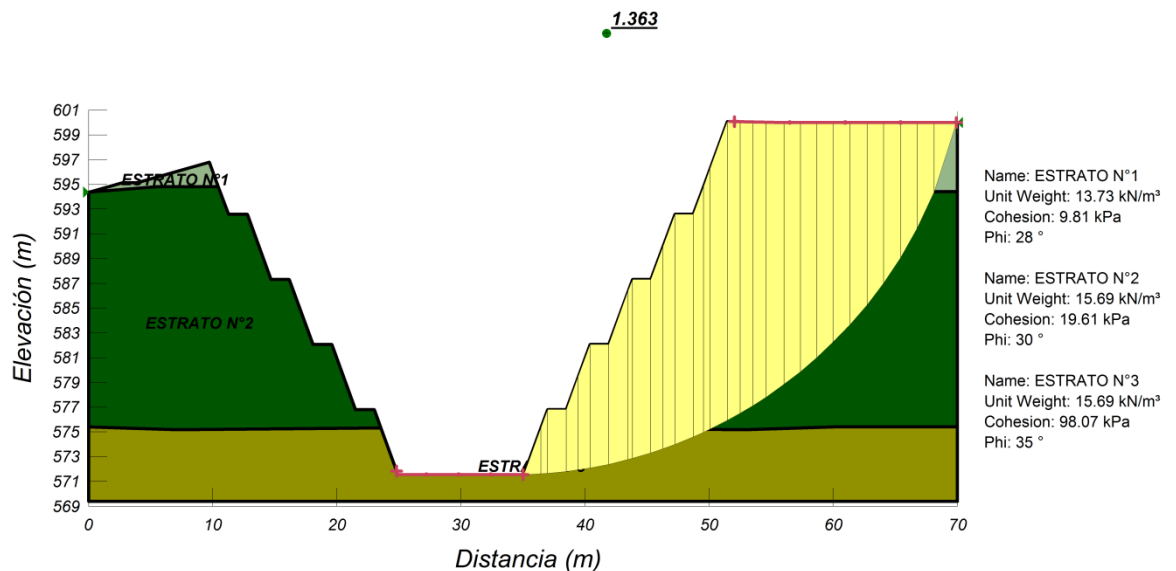


FIGURA N°5.65: Modelación del diseño de taludes transversales, en condiciones pseudoestáticas.

Los factores de seguridad que presentan los taludes son de 1.71 y 1.36 en condiciones estáticas y pseudoestáticas respectivamente (Ver Figuras N°5.64 y N°5.65), superando los F.S. requeridos por la “*Norma Técnica para Diseño de Cimentación y Estabilidad de Taludes*”, por lo tanto el diseño de conformación de taludes propuesta es estable.

5.5.3.2 PROTECCIÓN SUPERFICIAL EN TALUDES

Sobre los taludes conformados se proyecta la colocación de geosintéticos, para la protección superficial contra la erosión, los cuales tienen muy buena adaptación en taludes. Los geosintéticos contienen múltiples ventajas, principalmente para el control de la escorrentía y la reducción de la tasa de pérdida de suelo debida a la erosión. Además son elementos planos y flexibles que se acomodan y adhieren a la superficie del terreno, evitando que el agua y el viento entren directamente en contacto con el suelo y provoquen erosión. La función secundaria de estas intervenciones es la de promover la integración del talud al medio circundante, reconstituyendo, cuando sea posible, la vegetación local. Estas obras, además de preservar bienes y vidas humanas proporcionan principalmente en centros habitados y obras viales una gran economía con la eliminación de las operaciones de mantenimiento y limpieza del talud. Cuando la inclinación del talud es muy acentuada, el agua lluvia puede dejar el geosintético muy pesado e inestabilizarlo, en estos casos se debe ser utilizada una red en malla hexagonal de doble torsión para mantenerla estable, siendo este nuestro caso.

5.5.3.3 POZOS DE INSPECCIÓN O DE VISITA DE AGUAS LLUVIAS

Se proyectan tres pozos de concreto reforzado de diámetro interno de 2.00 m, sus paredes tienen un espesor de 0.30 m. Entre pozos tienen una separación de 5.00 m, los

primeros dos de altura de 10.00 m y el tercero tiene una altura de 9.00 m, conectados por tuberías de 42 pulgadas de diámetro.

Con el objeto de evitar grandes caídas de agua se le proyecta a cada pozo unos elementos de concreto reforzado su función es servir como disipadores de energía, puesto que buscan disminuir el impacto del agua sobre el piso y paredes del pozo. El rango de separación de los disipadores se encuentra normalmente entre 1.0 a 2.0 m de separación, mayores a este rango dependerá de un análisis más detallado y a criterio del diseñador. Para esta solución se utilizaron las consideraciones de la Propuesta de Alternativa de Solución N°2, en el Apartado 5.5.2.3.

5.5.3.4 GRADAS DISIPADORAS Y OBRAS HIDRÁULICAS

Se proyectan gradas disipadoras de energía, con el objetivo de conducir el agua de escorrentía hasta la quebrada. Las consideraciones utilizadas para éste corresponden a las descritas en la Alternativa de Solución N°1, obteniendo los siguientes resultados:

Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	h (m)	L _d (m)	Y _p (m)	Y ₂ (m)	Y ₁ (m)
3.01	0.94	1.50	2.43	0.68	0.94	0.16

TABLA N°5.20: Cálculo de longitud de desarrollo por caída en derramadero.

Del cálculo anterior se concluye que la longitud necesaria después de la primer caída para garantizar una disminución en la energía del agua, es como mínimo 2.50 m (L_d), no obstante se considera la diferencia de altura a salvar desde el cabezal de descarga hasta el muro de protección en la margen derecha de la quebrada, por lo que se asigna una longitud de 4.00 m, logrando alcanzar los niveles requeridos para la descarga al río.

Las dimensiones del derramadero propuesto logran satisfacer los requerimientos hidráulicos de la obra (Ver Figura N°5.66), estas son (Ver en Anexo N°10, Plano N°5.3.5):

- Ancho interno de 3.20 m.
- Caídas de 1.50 m de altura.
- Longitud de grada de 4.00 m.
- Paredes de 1.17 m de alto, con un espesor de 0.30 m en la parte superior y de 0.75 m en la parte inferior.

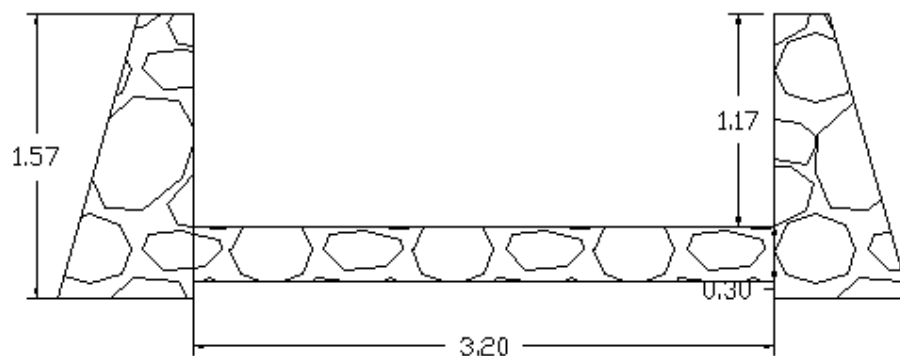


FIGURA N°5.66: Sección de las gradas disipadoras de energía (Derramadero).

- **Cabezal de descarga a colector**

Se proyectará un cabezal de descarga al colector (tubería de 42") de mampostería de piedra (Ver Figura N°5.67), con la finalidad de proteger la tubería en la transición del colector hacia las gradas disipadoras.

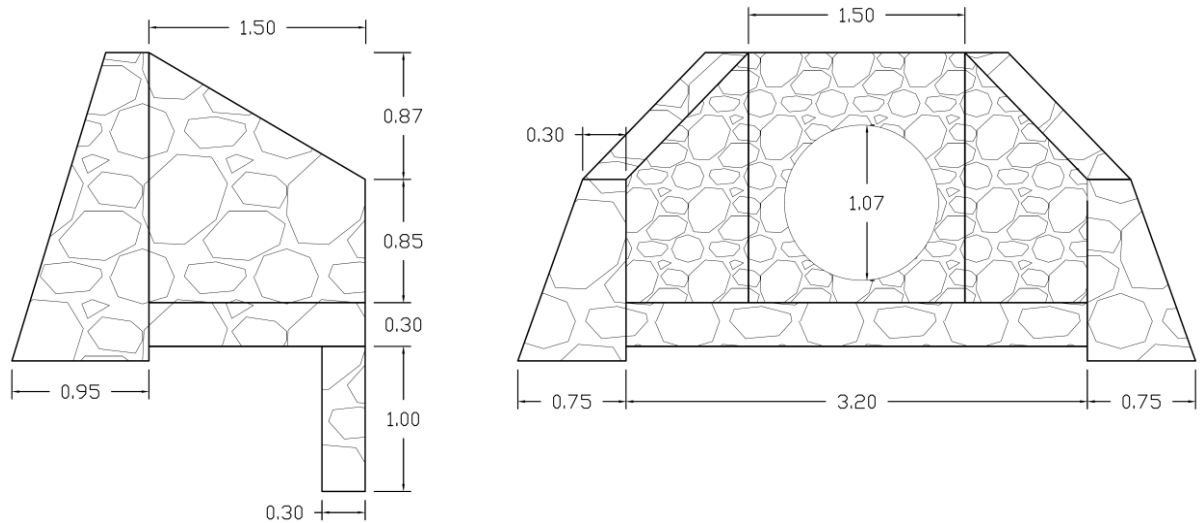


FIGURA N°5.67: Detalle del cabezal de descarga, sin escala.

5.5.3.5 DRENAJE SECUNDARIO (CANALETAS)

Consiste en la colocación de canaletas de forma trapezoidal y diques de suelo compactado en la corona superior del talud (Ver Figura N°5.68), éstas estarán emplazadas a 0.20 m de la corona del talud donde se colocará un pequeño relleno para evitar que el agua escurra sobre el cuerpo de los taludes inferiores, además se proyectan canaletas media caña en la parte interior de cada berma, para garantizar el drenaje de los taludes, las bermas tendrán una pendiente longitudinal del 3%, y están dirigidas para que drenen hacia el derramadero principal, tal como se detalla en el apartado 5.5.1.3, de la Propuesta de Alternativa de Solución N°1.

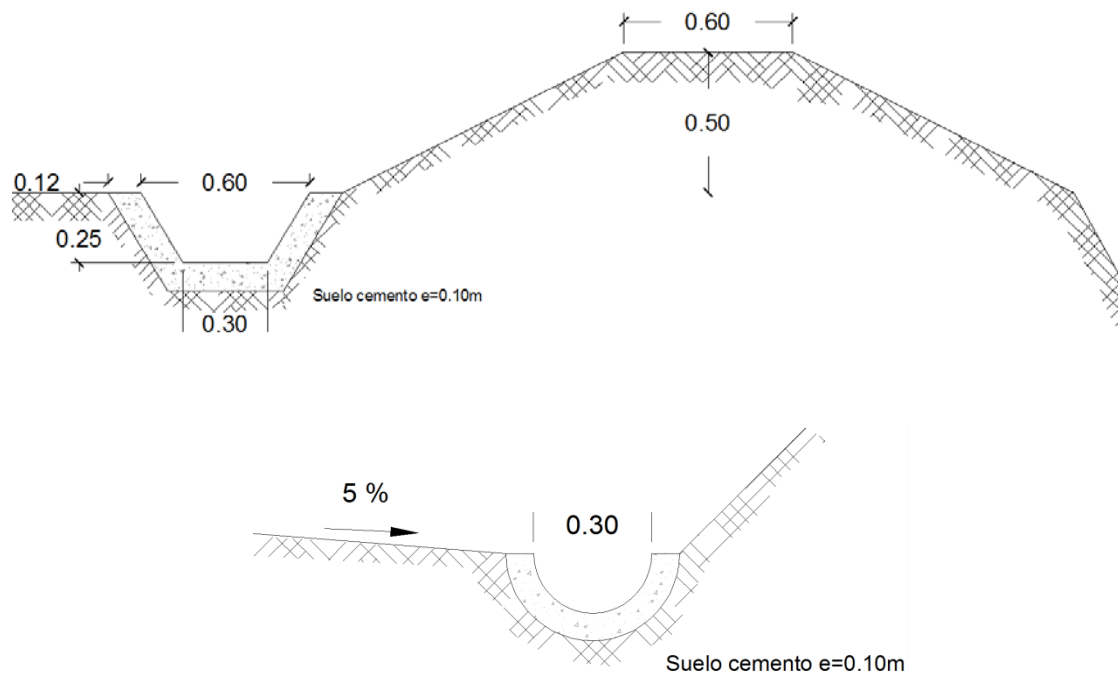


FIGURA N°5.68: Canaletas en forma trapezoidal y en media caña, colocadas en la corona y en las bermas de taludes, respectivamente.

5.5.3.6 OBRA DE CONTENCIÓN

Obra de contención al final de la descarga del derramadero, para darle estabilidad al mismo y aislar la obra del flujo de la quebrada. Esta obra consistirá en la colocación de un muro de gavión con las dimensiones de 3.00 m de altura y 3.00 m de ancho, con escalonamiento externo. El análisis del muro gavión se detalla a continuación:

- **Cálculo de la estabilidad del muro gavión**

Para el diseño del muro gavión se considerará:

- Roca que cumpla con un peso específico mínimo de 23.54 kN/m³.

- Para cada Gavión Caja se le considerará una porosidad de los gaviones de 30%.
- Se considerará geotextil en terraplén, lo cual disminuirá la fricción entre suelo de terraplén y muro gavión en un 10 %.
- Se considerará geotextil en la base del muro, reduciendo la fricción entre suelo de base y muro gavión en un 10 %.
- Se utilizarán escalones externos (Figura N°5.69) porque desde el punto de vista estático las estructuras con escalonamiento externo resultan más estables.

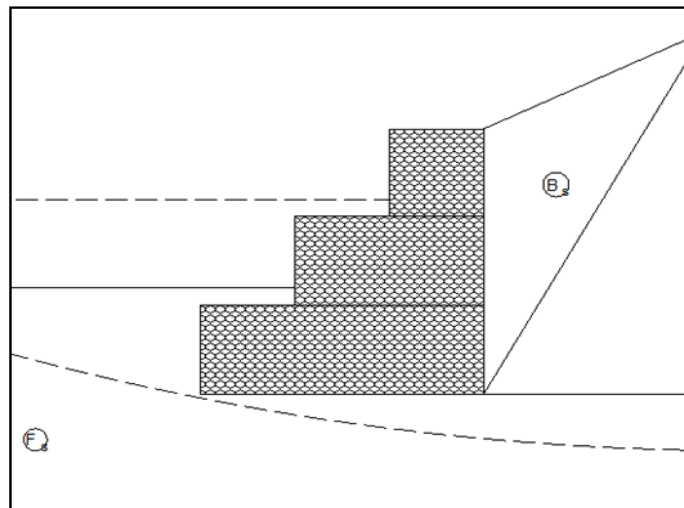


FIGURA N°5.69: Esquema del Diseño de Muro de Gaviones.

Es necesario la verificación de seguridad de la estructura de contención a los diversos tipos de rotura. En el caso de muros de contención de gaviones, los tipos principales de rotura que pueden ocurrir:

1. Rotura Global

En el análisis de estabilidad global se verifica la ruptura a lo largo de una superficie circular en el interior del macizo que contorna el muro de gaviones. Esta ruptura atraviesa, de esta forma, tanto el suelo a la derecha de la estructura como el suelo de fundación y el macizo a la izquierda del muro.

El cálculo del coeficiente de seguridad asociado a la superficie de ruptura es hecho por el Método de Bishop Simplificado. Los resultados del análisis incluyen el coeficiente de seguridad contra ruptura, la posición del centro y el radio del arco que este coeficiente de seguridad se refiere y el número de arcos analizados.

<i>Centro del arco con referencia al eje X</i>	<i>5.8 m</i>
<i>Centro del arco con referencia al eje Y</i>	<i>27.88 m</i>
<i>Radio del arco</i>	<i>28.53 m</i>
<i>Número de superficies analizadas</i>	<i>96</i>
<i>Coeficiente de Seguridad Contra la Ruptura Global</i>	<i>1.72</i>

Coeficiente de Seguridad contra ruptura global = 1.72 > 1.1 ← Ok

2. Deslizamiento

El valor del coeficiente de seguridad contra el deslizamiento es determinado como la relación entre el valor de la resistencia disponible y el valor de la resistencia movilizada contra el deslizamiento. La resistencia disponible es tomada como la suma de las resistencias a lo largo de la base y la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento. La resistencia movilizada contra es dada por la componente del empuje pasivo en la dirección del deslizamiento.

<i>Empuje Activo</i>	<i>Ea</i>	<i>295.08 kN/m</i>
<i>Empuje Pasivo</i>	<i>Ep</i>	<i>477.13 kN/m</i>
<i>Factor de Seguridad Contra Deslizamiento</i>	<i>Fd</i>	<i>2.82</i>

Coeficiente de Seguridad contra deslizamiento = 2.82 > 1.2 ← Ok

3. Verificación Contra Vuelco

El coeficiente de seguridad contra vuelco es calculado como la relación entre el momento resistente total y el momento total de vuelco. El momento de vuelco es tomado como el momento de la componente horizontal del empuje activo actuante, entretanto que el momento resistente es el tomado como la suma de los momentos del peso propio de la estructura y del empuje pasivo.

- Momento Activo (Volcador)

Valor del momento que actúa en contra la estabilidad, tomado con referencia al fulcro de la estructura (ángulo inferior izquierdo de la base del muro).

- Momento Resistente (Estabilizante)

Suma de los momentos generado por el empuje pasivo, peso de la estructura y posibles cargas que actúan sobre el muro.

- Factor de Seguridad

Valor del coeficiente de seguridad contra el vuelco de la estructura.

<i>Momento Activo</i>	<i>Ma</i>	460.68 kN/m
<i>Momento Resistente</i>	<i>Mp</i>	878.04 kN/m
<i>Factor de Seguridad Contra Vuelco</i>	<i>Fv</i>	1.91

$$Fv = \frac{Mp}{Ma} > 1.2 \leftarrow Ok$$

$$Fv = \frac{460.68}{878.04}$$

$$\text{Coeficiente de Seguridad contra vuelco} = 1.91 > 1.2 \leftarrow Ok$$

4. Presiones en la Fundación

El valor de las presiones actuantes en la fundación debe ser comparado con la máxima presión admisible.

- Tensión Izquierdo – Tensión en el extremo externo.

El valor de la tensión normal actuando en el límite externo (izquierdo) de la base de la estructura.

- Lado derecho – Tensión en el extremo interno.

El valor de la tensión normal actuando en el límite interno (derecho) de la base de la estructura.

- Máxima Presión Aceptable.

La máxima presión normal que el suelo de fundación puede soportar.

<i>Excentricidad</i>	<i>e</i>	<i>0.32 m</i>
<i>Tensión Normal a la izquierda</i>	<i>q1</i>	<i>28.12 kN/m²</i>
<i>Tensión Normal a la derecha</i>	<i>q2</i>	<i>125.06 kN/m²</i>
<i>Máxima Tensión Aceptable</i>	<i>qmax</i>	<i>196 kN/m²</i>

Verificación del Tercio Medio:

$$\frac{L}{6} = \frac{3}{6} = 0.50 \text{ m} \quad \leftarrow \text{Tercio medio}$$

$$e = 0.32 < \frac{L}{6} = 0.50 \quad \leftarrow \text{Ok (Cae dentro)}$$

Entonces la resultante cae dentro del tercio medio de la base del muro, por tanto la distribución de esfuerzos en el suelo es como muestra la Figura N°5.70:

$$q1 = 28.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < 196 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \leftarrow \text{Ok}$$

$$q_2 = 125.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < 196 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leftarrow \text{Ok}$$

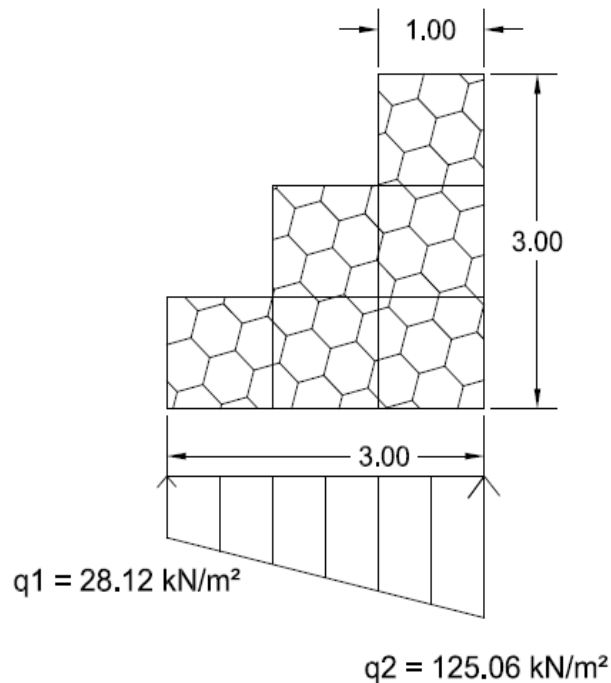


FIGURA N°5.70: Distribución de presiones en la fundación del Muro Gavión.

Como obra complementaria se proyectará un colchón tipo reno con un espesor de 30 cm, en la base del muro gavión para proteger las cimentaciones de la estructura a procesos de socavación.

Las dimensiones estándares de este elemento oscilan entre:

- Largo: 3.00 m – 6 m
- Ancho: 2.00 m
- Altura: 0.17 m, 0.23 m, y 0.30 m

En la Propuesta de Alternativa de Solución N°3 se proyectan colchones renos modulados con dimensiones de 6.0 m de largo, 2.0 m de ancho y 0.30 m de alto,

ubicados en fondo del cauce para evitar socavación en la fundación del muro propuesto (Ver Anexo N°10, Planos N°5.3.1, N°5.3.2 y N°5.3.5) y tal como se muestra en la Figura N°5.71.

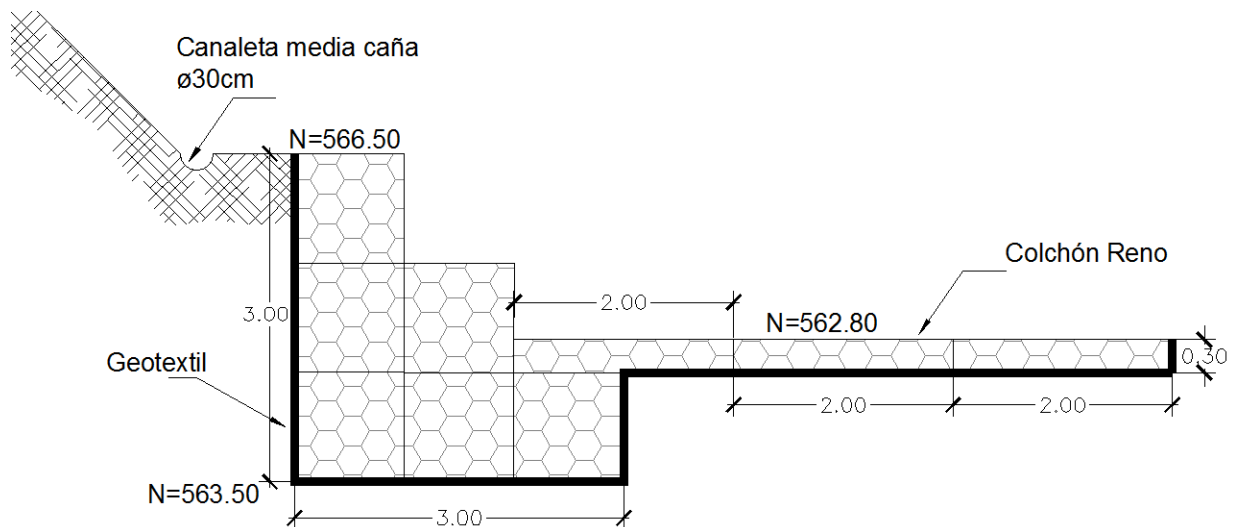


FIGURA N°5.71: Detalle del Muro Gavión de la Alternativa N°3.

5.5.3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS

Las obras complementarias dan soporte a las obras principales, las cuales consisten en la construcción de un muro perimetral para proteger la zona intervenida con las obras de mitigación evitando alteraciones por el ingreso de personas o animales a la zona donde se proyectarán las obras de mitigación; muros guardaniveles con la finalidad de mantener el nivel del fondo del cauce, y de esta manera proteger la pendiente del mismo y las fundaciones de las obras proyectadas, estos elementos se ubicarán aguas arriba y aguas abajo de las obras de mitigación planteadas.

- **Cerco Perimetral**

Con el objetivo principal de aislar la obra con el medio que lo rodea se recomienda un muro perimetral para evitar alteraciones por el ingreso de personas o animales a la zona donde se proyectarán las obras de mitigación. Las dimensiones del muro perimetral propuesto corresponden a las mostradas en la Figura N°5.72, donde se puede observar que la altura del cerco es de 2.50 m constituido de postes de concreto, malla ciclón y alambre de púas (ver Anexo N°10, Plano, N°5.3.5).

La ubicación del muro perimetral se determinó considerando la zona de protección que establece el Reglamento de la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, 2004: *“La zona de protección debe ser 1.5H del talud”*. Y que las obras propuestas no afectarán las infraestructuras aledañas.

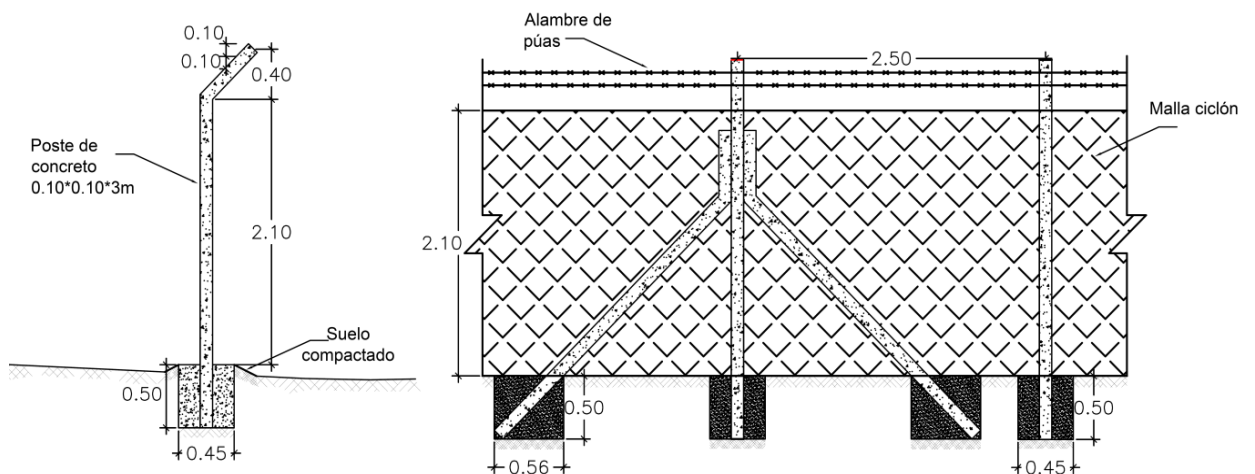


FIGURA N°5.72: Detalle del cerco perimetral, sin escala.

- **Muro Guardanivel**

El problema de socavación en cauces de quebradas y ríos es evidente en la zona de análisis (tanto en los laterales como en el fondo), donde se puede observar cauces con grandes altura y en algunos casos los caudales no son proporcionales a dichas dimensiones, sin embargo, son suficientes para ir socavando y provocando pérdidas de suelos en los márgenes de ríos y quebradas. Para minimizar dicho impacto se proyectan en el cauce muros guardaniveles (Ver Figura N°5.73), con la finalidad de mantener el nivel del fondo del cauce, y de esta manera proteger la pendiente del mismo y las fundaciones de las obras proyectadas. Dichos elementos se ubicarán aguas arriba y aguas abajo de las obras de protección planteadas (ver en Anexo N°10, Planos N°5.3.1 y N°5.3.5).

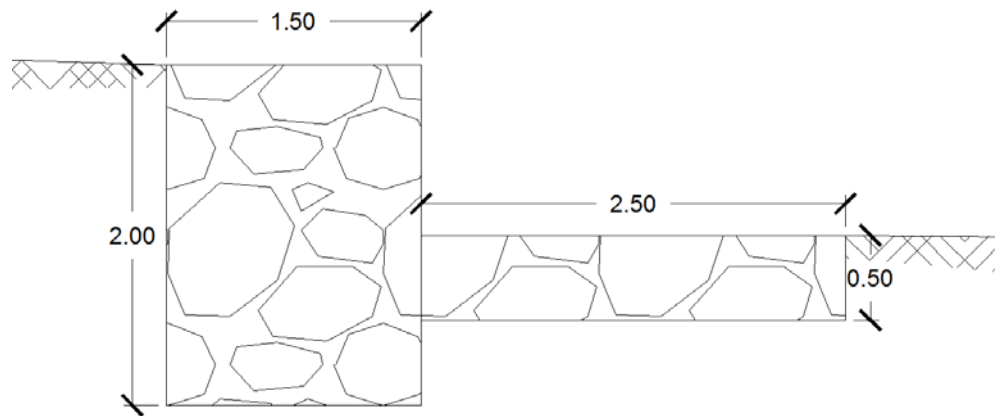


FIGURA N°5.73: Detalle del muro guardanivel, sin escala.

- **Mantenimiento**

Es muy importante realizar mantenimiento rutinario para extender la vida útil de las obras de mitigación construidas y evitar que daños que pueden ser tratados tempranamente con la mínima inversión se incrementen y puedan significar la pérdida completa o parcial de las obras de mitigación construidas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Del análisis de las Cárcavas visitadas en la zona en estudio se concluye:
 - 1.1 El 83% de las Cárcavas se originaron por un fenómeno hidrometeorológico y el 17% debido a un evento sísmico, el proceso erosivo en cada Cárcava sufrió aceleración debido a tormentas subsiguientes que frecuentemente se han presentado desde su respectiva fecha de origen.
 - 1.2 El 75% de las Cárcavas visitadas afecta hasta 200 personas, 8% afecta entre 200 y 600 personas y el 17% a más de 600 personas, en total las Cárcavas visitadas afectan a un estimado de 5,275 personas, representando el 5.1% de la población del Municipio de Ilopango.
 - 1.3 El 59% de las Cárcavas se encuentran a distancias de 0 a 10 m de la infraestructura más cercana, el 33% de 10 a 20 m y el 8% a 20 m de distancia o más.
 - 1.4 El 92% de las Cárcavas mostraron daños parciales o totales en los sistemas de aguas lluvias, especialmente en las descargas y un 8% presenta daños en obras de protección.
 - 1.5 El 25% de las Cárcavas se encuentran dentro de la sub-cuenca del río La Jutera, las sub-cuencas de las quebradas El Caracol, Arenal de San Bartolo y Río Las Cañas con 17% respectivamente y las sub-cuencas de la quebrada Las Pavas, El Arenal y Río Chagüite con 8% respectivamente.

- 1.6 El 100% de las Cárcavas de la zona en estudio se encuentran asociadas a una red hídrica, que influye directa o indirectamente en el avance del proceso de erosión, afectando en mayor magnitud en la época lluviosa.
- 1.7 El 34% de las Cárcavas presenta taludes con alturas entre 30 y 40 m, el 33% con alturas entre 20 y 30 m, 25% con alturas entre 10 y 20 m, y 8 % con alturas de 0 a 10 m.
- 1.8 El 59% de los taludes donde se localizan las Cárcavas visitadas tienen una inclinación entre 81° a 90°, 8% cuentan con inclinación entre 71° y 80°, con el mismo porcentaje taludes con inclinación entre 61° y 70°, y un 25% con pendientes menores de 60°, de los resultados obtenidos la mayoría refleja el mecanismos de falla que se produce en este tipo de material conocido como exfoliación.
- 1.9 De las Cárcavas visitadas, la ubicada en Llano Verde es la que ha presentado mayor pérdida de suelo, estimando un promedio de 10,000 m³ anuales, es decir, es la que más sedimentos ha aportado a su sub-cuenca (Río La Jutera).
- 1.10 El 25% de las Cárcavas presentan escasa vegetación sobre los escarpes, 42% media y 33% presentan abundante vegetación, sin embargo, el área degradada en el cuerpo y corona de la Cárcava ya no cuenta con ese tipo de protección.
- 1.11 Las Cárcavas en su totalidad están constituidas por materiales de origen volcánico conocidos como Tierras Blancas Jóvenes (S4), identificadas geotécnicamente como Arenas Limosas y Limos Arenosos.

- 1.12 El 67% de las Cárcavas presentan una alta probabilidad a continuar con el proceso erosivo, ya que continúan descargando agua sin contar con obras hidráulicas y de protección necesarias que garanticen no producir dicho efecto, el 17% presenta probabilidad media y el 16% probabilidad baja.
- 1.13 El 34% de las Cárcavas no cuenta con ningún tipo de intervención, el 25% tiene carpeta técnica, un 33% son Cárcavas intervenidas y un 8% ya están finalizadas.
2. De la evaluación y priorización se concluye que las Cárcavas que requieren intervención inmediata son: Santa Rosa y San Bartolo del Norte 3; y las Cárcavas que requieren intervención a corto plazo son San Francisco de Asís, Vista al Lago, Linda Vista, Tasturbas, San Bartolo de Norte I y San Gerardo.
 3. Las condiciones geológicas que presenta el tipo de suelo del sector de Ilopango, los eventos hidrometeorológicos extraordinarias asociados al cambio climático y factores antrópicos como son las descargas de colectores de aguas lluvias y negras, han propiciado ampliamente la generación de Cárcavas en el municipio de Ilopango.
 4. Los daños en los sistemas de drenaje constituyen la causa más común en la generación de Cárcavas, en algunos casos los colectores nunca contaron con obras de descarga, y en otros, la falta de mantenimiento propició la generación de la erosión hasta alcanzar grandes áreas, produciendo considerables pérdidas de suelo.

5. Las obras mínimas que se requieren para contrarrestar el proceso de erosión son: obras para el control de escorrentía, control del fondo de la Cárcava y protección de la superficie del talud.
6. Para proponer soluciones a problemas de erosión en Cárcavas, se deben realizar los análisis que permitan conocer las características del territorio en el que se está trabajando, con el objetivo de justificar los diseños de las obras de protección necesarias

6.2 RECOMENDACIONES

1. Como medida inmediata cuando se presente un problema de erosión de Cárcavas, se debe desviar y controlar el flujo hídrico con el propósito de evitar que este siga agudizando el desarrollo de la Cárcava, además es necesario proteger la superficie para evitar la infiltración del agua a los taludes y que estos se saturen y continúen con el proceso erosivo; estas medidas son de carácter provisional que dan alivio temporal mientras se analiza una solución permanente.
2. Cuando se requiere solucionar un problema de erosión en Cárcavas, se debe realizar una investigación de las causas que originaron el problema y que lo están extendiendo, además estudiar soluciones implementadas con éxito a problemas con condiciones similares, las cuales servirán como parámetros en la búsqueda de una solución integral y adecuada al problema de Cárcava que se tenga.
3. Se recomienda a las municipalidades y a las entidades correspondientes, realizar actividades para capacitar y concientizar a los pobladores que se encuentren viviendo en zonas de alto riesgo, para que tomen las medidas de precaución necesarias en caso tengan de evacuar sus viviendas, por lo que se debe tener un

plan de alerta temprana y de evacuación de los sitios vulnerables o con alta amenaza de erosión masiva.

4. Se recomienda a las instituciones encargadas de dar permisos de urbanización, revisar y comprobar la calidad de los diseños de las alcantarillas de aguas lluvias y negras con sus correspondientes descargas y obras de protección, en los cuales se considere el comportamiento de los suelos que yacen en el Área Metropolitana de San Salvador.
5. Se recomienda realizar un diagnóstico y campaña de mantenimiento al sistema de drenaje público de aguas lluvias y aguas negras, principalmente en las urbanizaciones y comunidades afectadas por procesos erosivos, también en aquellas que tienen sus descargas directas a ríos y quebradas y las que poseen las características potenciales para que se desarrolle una Cárcava.
6. Para disminuir el impacto de los eventos hidrometeorológicos que ocurren año con año, se recomienda la construcción de obras de retención e infiltración, con el objetivo de amortiguar y controlar el flujo de agua evitando el paso de grandes volúmenes escurridos hacia aguas abajo.
7. Desarrollar infraestructura para la protección de las cuencas y el mejoramiento de la conducción de los flujos de agua en los cauces de ríos y quebradas dentro del Área Metropolitana de San Salvador (Manejo de Cuencas), con el objetivo de preservar dicho recurso y disminuir el impacto sobre ellos, desde las partes altas de las cuencas hacia aguas abajo de las mismas, de esta manera se controla apropiadamente el cauce.

8. El actual desgaste y envejecimiento que presenta el sistema de alcantarillado, en el Área Metropolitana de San Salvador, se ve seriamente afectado cuando fenómenos climáticos extraordinarios tienen lugar en el país, estos provocan que se lleguen a sobrepasar los niveles de caudales máximos de diseño esperados, repercutiendo en el colapso de sistemas de alcantarillado, donde su área de descarga es la más afectada. Por lo que se deben diseñar drenajes con mayor capacidad para los nuevos proyectos urbanísticos y sustituir los obsoletos.

9. Cuando el problema de erosión en Cárcavas se soluciona en condiciones fácilmente remediabiles requiere de menores esfuerzos económicos que al tratarse en un estado de avance crítico, por lo que se debe evitar que este proceso se potencialice y se desarrolle, implementándole obras de solución; y de esta manera se evitarán pérdidas económicas y en el peor de los casos humanas.

10. Las instituciones competentes deben garantizar el estricto cumplimiento de los planes de zonificación de desarrollo urbano para el Área metropolitana de San Salvador, además se recomienda la creación de un plan maestro de regiones hidrográficas.

11. Se recomienda utilizar la “Metodología para la Evaluación de Cárcavas” realizada en este Trabajo de Graduación, con el objetivo de establecer una evaluación y priorización de las Cárcavas que tienen que ser intervenidas, además el inspector tiene la libertad de aplicar su propio criterio para la asignación de los pesos para cada categoría, en base a las características recabadas en campo de las Cárcavas visitadas

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jaime Suárez Díaz, 2001, "Control de Erosión en Zonas Tropicales", Bucaramanga, Colombia, División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
2. Embajada de República Checa, Oficina del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), 2010, "Cartografía y evaluación para estudiar los procesos erosivos en el Área Metropolitana de San Salvador "
3. Jaime Suárez Díaz, 2009, "Deslizamientos: Análisis Geotécnico Volumen 1", Bucaramanga, Colombia, División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
4. Jaime Suárez Díaz, 2009, "Deslizamientos: Técnicas de Remediación Volumen 2", Bucaramanga, Colombia, División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
5. Fernando Mejía Fernández, 2010, "Estructuras de Vertimiento de Aguas en Laderas de Media a Fuerte Pendiente", Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
6. Ministerio de Obras Públicas, 2011, "MOP Consolidado de Obras de Mitigación", San Salvador, El Salvador.
7. Ministerio de Obras Públicas, 1997, "Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes", San Salvador, El Salvador.

8. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 1998, “Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras”, San Salvador, El Salvador.
9. Alcaldía Municipal de Ilopango, 2011, “Informe de Cárcavas”, Ilopango, San Salvador, El Salvador.
10. Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador, 2005, “Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, Componente Evaluación de Recursos Hídricos”, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
11. Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, 2011, “Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños con sus Anexos”, San Salvador, El Salvador.
12. Edgardo Walter Hernández Guevara, 2004, “Características Geomecánicas y Vulcanológicas de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador”, San Salvador, El Salvador.
13. Servicio Nacional de Estudios Territoriales Edgardo Walter Hernández, “Mecanismo de Ruptura de Taludes en Ignimbritas de Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador”.
14. Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011, “Perfil Climatológico de la Estación Aeropuerto de Ilopango (S-10)”, San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

15. Edgardo Walter Hernández Guevara, 2008, "Aspectos Geológicos que Influyen en las Aguas Subterráneas y en la Respuesta Sísmica del Área Metropolitana de San Salvador", San Salvador, El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
16. Prof. Dr. Pérsio Leister de Almeida Barros, "Manual Técnico de Obras de contención de Maccaferri Centroamérica", Maccaferri.
17. Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, OPAMSS, 2011, "Diagnóstico de la Situación de Cárcavas en el AMSS", San Salvador, El Salvador.
18. Ven Te Chow, 1982, "Hidráulica de los Canales Abiertos" México D.F., Editorial Diana.
19. Berta Maritza Molina, Giovanni Neftalí Pérez Henríquez, Mauricio Ernesto Vásquez Cerros. 2010, "Caracterización Geotécnica de la Tefras Tierra Blanca Joven Unidad G". Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
20. Guillermo Ernesto Figueroa Díaz, Fredys Adelmo Rodríguez Aguilar, Edwin Enrique Zelada Segundo, 2011, "Análisis y Diseño de Estructuras de Retención de aplicación reciente en El Salvador". Universidad de El Salvador.

ANEXOS

ANEXO N°1:
Mapa 3.1, CUENCA ALTA DEL RÍO
LAS CAÑAS, HIDROLOGÍA BASE

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

MAPA N° 3.1

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS HIDROLOGÍA BASE

SIMBOLOGÍA

GENERAL		OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)	
	RÍO LAS CAÑAS		FINALIZADA
	RÍOS Y QUEBRADAS		EN EJECUCIÓN
	RED VIAL		SIN EJECUCIÓN
	CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS		
	ESTRUCTURAS IMPORTANTES		
	MUNICIPIOS		
	CUERPOS DE AGUA		

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

ID	UBICACIÓN	MUNICIPIO	ESTADO
1	Res. Col. Santa Lucía	Ilopango	Finalizada
2	Urb. Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Finalizada
3	Altos del Boulevard Sector 2	Soyapango	Finalizada
4	Altos del Boulevard Sector 1	Soyapango	Finalizada
5	Col. Llano Verde	Ilopango	En Ejecución
6	Rep. El Carmen	Soyapango	En Ejecución
7	Colonia El Matazano	Soyapango	En Ejecución
8	Com. Italia	Ilopango	En Ejecución
9	Rep. Las Cañas	Ilopango	Finalizada
10	Urb. El Limón	Soyapango	Sin Ejecución
11	Com. Regalo de Dios, Quebrada Murcia	Soyapango	Sin Ejecución
12	Jardines de San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
13	Puente de la Av. Chaparrastique, Zona Franca San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
14	Col. Guayacan, en C.E.	Soyapango	Sin Ejecución
15	Jardines del Pepet o 3	Soyapango	Sin Ejecución
16	Com. Santa Magdalena 1 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
17	Rep. La Campanera	Soyapango	Sin Ejecución
18	Urb. Amatepec	Ilopango	Sin Ejecución
19	Col. Bosques del Río	Ilopango	Sin Ejecución
20	Com. Martínez y Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
21	Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
22	Rep. Los Santos 1	Soyapango	Sin Ejecución
23	Urb. Jardines de Monte Blanco	Soyapango	Sin Ejecución
24	Col. Santa María 1	San Martín	Sin Ejecución
25	Col. San José	San Martín	Sin Ejecución
26	Com. Santa Magdalena 2 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
27	Boulevard del Ejército y Carretera de Mujeres y Aeronáutica Civil	Ilopango	Sin Ejecución
28	Carretera de Oro, Lot. Santa María	Ilopango	Sin Ejecución
29	Santa Euvigens	Ilopango	Sin Ejecución
30	Jardines de San Bartolo (Entrada a Col)	Ilopango	Sin Ejecución
31	Boulevard del Ejército, Puente Eureka, Col. Altos del Boulevard	Soyapango	Sin Ejecución

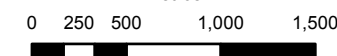
DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

PERÍMETRO	30.90 km
ÁREA TOTAL	28.67 km ²
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	5.39 km
ELEVACIÓN MÁXIMA	1159 msnm

COMPRESIÓN ADMINISTRATIVA

MUNICIPIO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
SOYAPANGO	10.84	37.81%
ILOPANGO	9.67	33.73%
SAN MARTÍN	5.66	19.74%
TONACATEPEQUE	2.50	8.72%
CUENCA TOTAL	28.67	100.00%

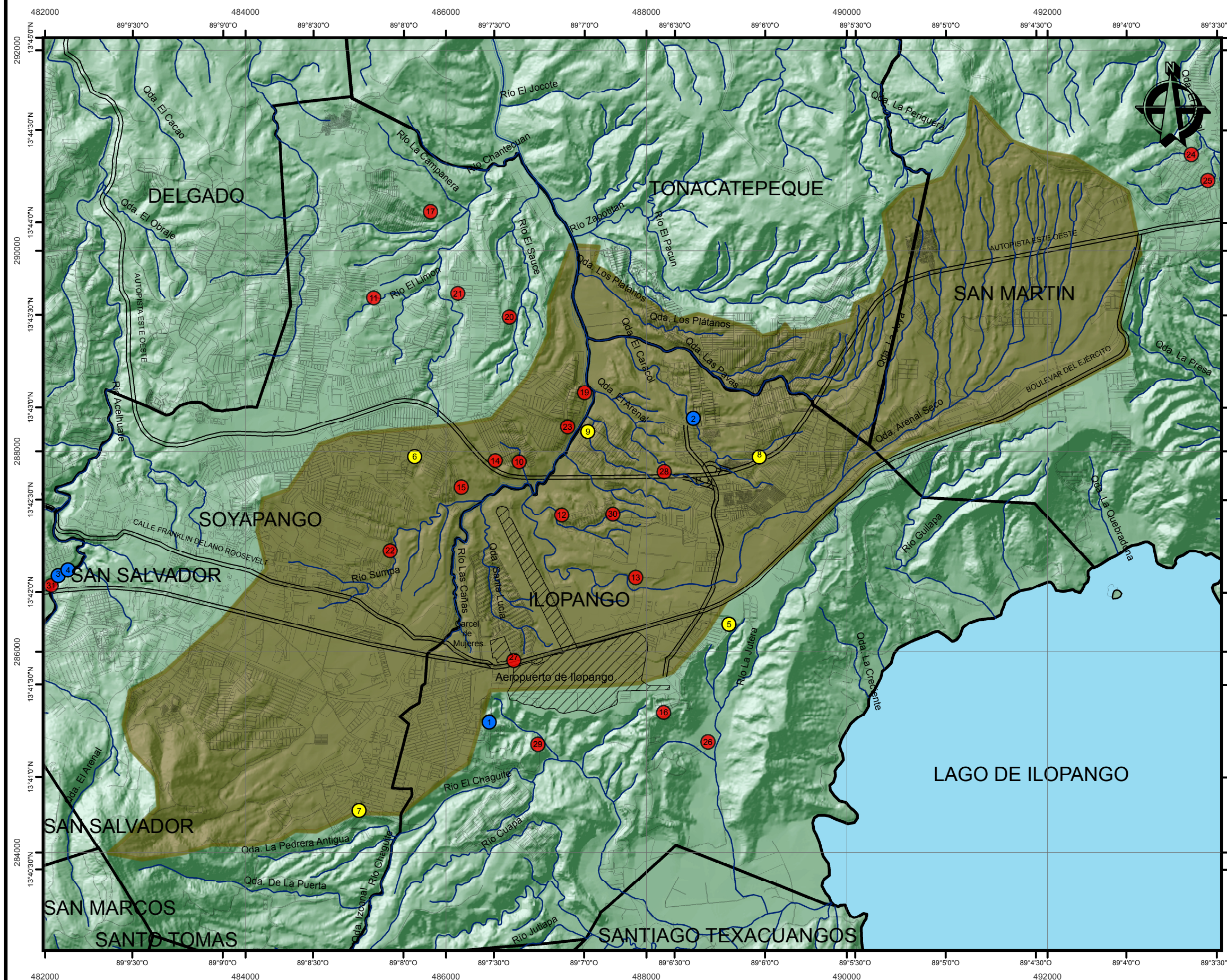
Metros



PROYECCIÓN CONICA CONFORMAL DE LAMBERT
DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

FUENTE: SIG OPAMSS Y MOP

ESCALA 1:40,000



ANEXO N°2:
Mapa 3.2, CUENCA ALTA DEL RÍO
LAS CAÑAS, TOPOGRAFÍA

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

MAPA N° 3.2

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS TOPOGRAFÍA

SIMBOLOGÍA

GENERAL		OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)	
	CURVAS DE NIVEL (20 m)		FINALIZADA
	RÍO LAS CAÑAS		EN EJECUCIÓN
	RÍOS Y QUEBRADAS		SIN EJECUCIÓN
	RED VIAL		
	CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS		
	ESTRUCTURAS IMPORTANTES		
	MUNICIPIOS		
	CUERPOS DE AGUA		

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

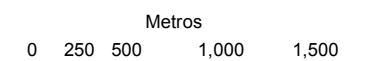
ID	UBICACIÓN	MUNICIPIO	ESTADO
1	Res. Col. Santa Lucía	Ilopango	Finalizada
2	Urb. Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Finalizada
3	Altos del Boulevard Sector 2	Soyapango	Finalizada
4	Altos del Boulevard Sector 1	Soyapango	Finalizada
5	Col. Llano Verde	Ilopango	En Ejecución
6	Rep. El Carmen	Soyapango	En Ejecución
7	Colonia El Matanzano	Soyapango	En Ejecución
8	Com. Italia	Ilopango	En Ejecución
9	Rep. Las Cañas	Ilopango	En Ejecución
10	Urb. El Limón	Soyapango	Sin Ejecución
11	Com. Regalo de Dios, Quebrada Murcia	Soyapango	Sin Ejecución
12	Jardines de San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
13	Puente de la Av. Chaparrastique, Zona Franca San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
14	Col. Guayacan, en C.E	Soyapango	Sin Ejecución
15	Jardines del Pepeto 3	Soyapango	Sin Ejecución
16	Com. Santa Magdalena 1 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
17	Rep. La Campanera	Soyapango	Sin Ejecución
18	Urb. Amatepec	Ilopango	Sin Ejecución
19	Col. Bosques del Río	Ilopango	Sin Ejecución
20	Com. Martínez y Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
21	Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
22	Rep. Los Santos 1	Soyapango	Sin Ejecución
23	Urb. Jardines de Monte Blanco	Soyapango	Sin Ejecución
24	Col. Santa María 1	San Martín	Sin Ejecución
25	Col. San José	San Martín	Sin Ejecución
26	Com. Santa Magdalena 2 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
27	Boulevard del Ejército entre Carcel de Mujeres y Aeronautica Civil	Ilopango	Sin Ejecución
28	Carretera de Oro, Lot. Santa María	Ilopango	Sin Ejecución
29	Santa Eduvigis	Ilopango	Sin Ejecución
30	Jardines de San Bartolo (Entrada a Col)	Ilopango	Sin Ejecución
31	Boulevard del Ejército, Puente Eurka, Col. Altos del Boulevard	Soyapango	Sin Ejecución

DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

PERÍMETRO	30.90 km
ÁREA TOTAL	28.67 km ²
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	5.39 km
ELEVACIÓN MÁXIMA	1159 msnm

COMPRESIÓN ADMINISTRATIVA

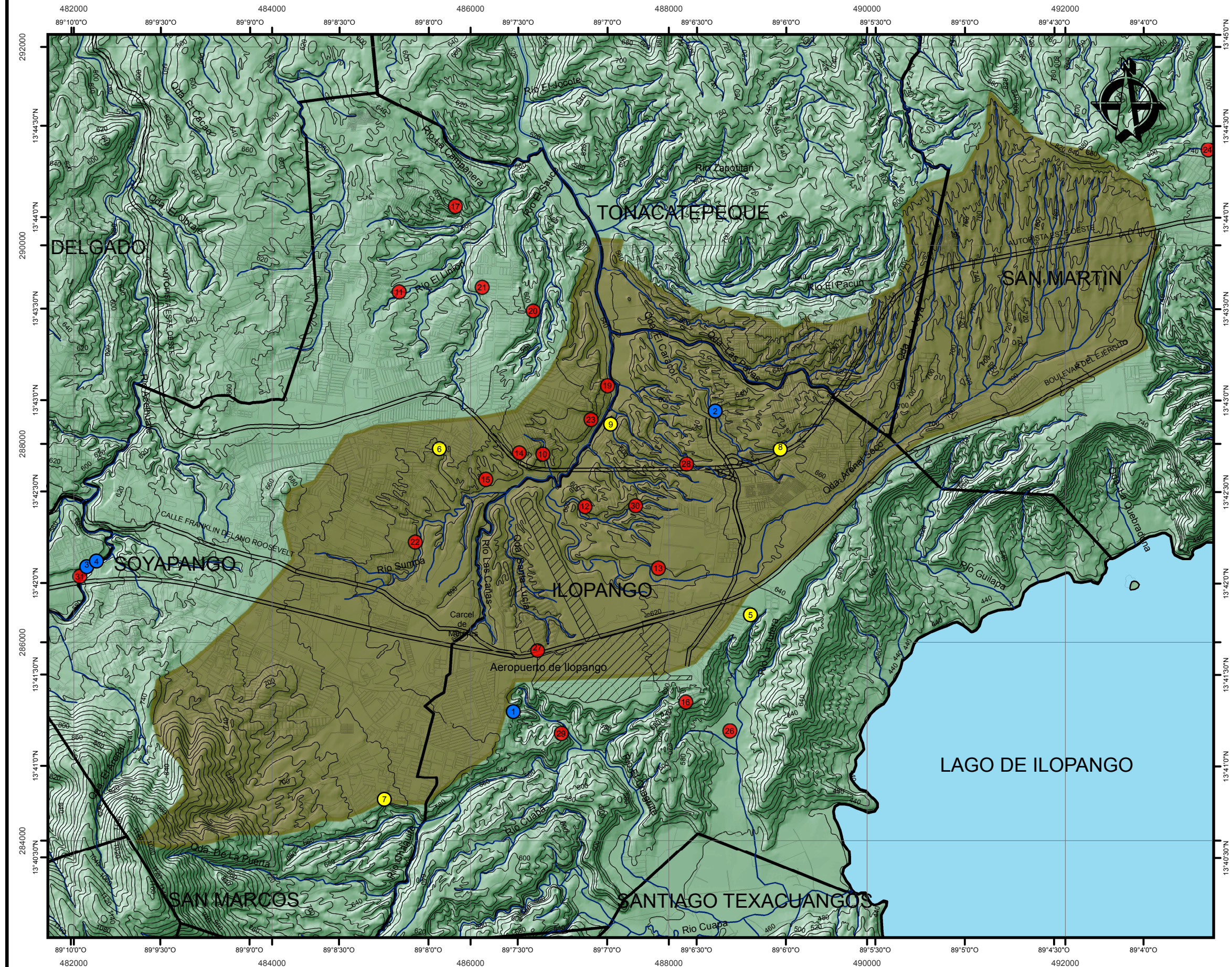
MUNICIPIO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
SOYAPANGO	10.84	37.81%
ILOPANGO	9.67	33.73%
SAN MARTÍN	5.66	19.74%
TONACATEPEQUE	2.50	8.72%
CUENCA TOTAL	28.67	100.00%



PROYECCIÓN CONICA CONFORMAL DE LAMBERT
DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

FUENTE: SIG OPAMSS Y MOP

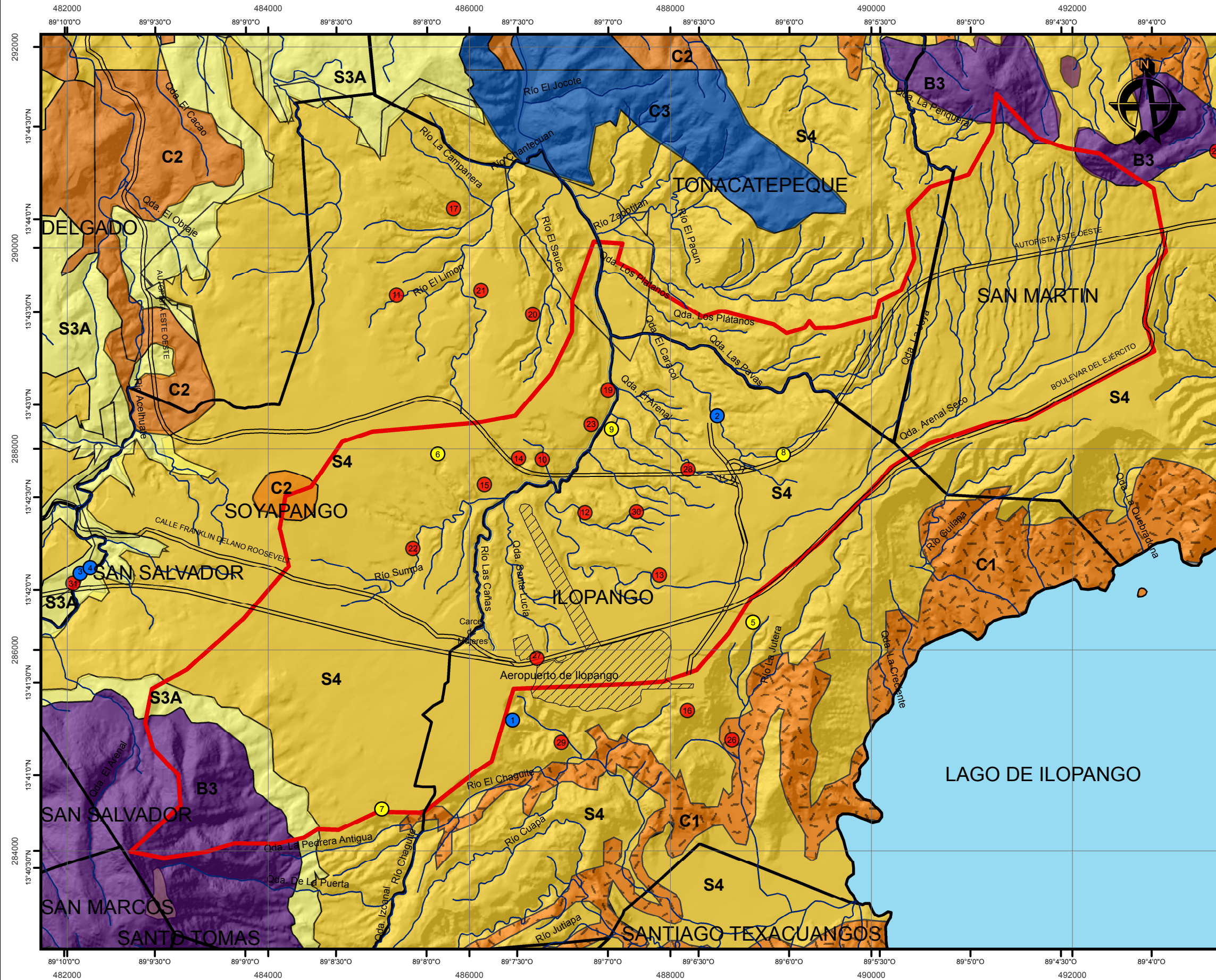
ESCALA 1:40,000



ANEXO N°3:
Mapa 3.3, CUENCA ALTA DEL RÍO
LAS CAÑAS, GEOLOGÍA

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

MAPA N° 3.3 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS GEOLOGÍA SIMBOLOGÍA



GENERAL

- RÍO LAS CAÑAS
- RÍOS Y QUEBRADAS
- RED VIAL
- CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS
- ESTRUCTURAS IMPORTANTES
- MUNICIPIOS
- CUERPOS DE AGUA

TIPOS DE SUELOS

- B3 FORMACION BALSAMO: Efusivas básicas - intermedias
- C1 FORMACION CUSCLATAN: Piroclásticas Acidas
- C2 FORMACION CUSCLATAN: Efusivas Acidas
- C3 FORMACION CUSCLATAN: Efusivas Basicas
- S3A FORMACION SAN SALVADOR: Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas (Tobas color café)
- S4 FORMACION SAN SALVADOR: Tierra Blanca, Piroclásticas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

- FINALIZADA
- EN EJECUCIÓN
- SIN EJECUCIÓN

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

ID	UBICACIÓN	MUNICIPIO	ESTADO
1	Res. Col. Santa Lucía	Ilopango	Finalizada
2	Urb. Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Finalizada
3	Altos del Boulevard Sector 2	Soyapango	Finalizada
4	Altos del Boulevard Sector 1	Soyapango	Finalizada
5	Col. Llano Verde	Ilopango	En Ejecución
6	Rep. El Carmen	Soyapango	En Ejecución
7	Colonia El Matazano	Soyapango	En Ejecución
8	Com. Italia	Ilopango	En Ejecución
9	Rep. Las Cañas	Ilopango	En Ejecución
10	Urb. El Limón	Soyapango	Sin Ejecución
11	Com. Regalo de Dios, Quebrada Murcia	Soyapango	Sin Ejecución
12	Jardines de San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
13	Puente de la Av. Chaparrastique, Zona Franca San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
14	Col. Guayacan, en C.E	Soyapango	Sin Ejecución
15	Jardines del Pepeto 3	Soyapango	Sin Ejecución
16	Com. Santa Magdalena 1 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
17	Rep. La Campanera	Soyapango	Sin Ejecución
18	Urb. Amatepec	Ilopango	Sin Ejecución
19	Col. Bosques del Río	Ilopango	Sin Ejecución
20	Com. Martínez y Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
21	Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
22	Rep. Los Santos 1	Soyapango	Sin Ejecución
23	Urb. Jardines de Monte Blanco	Soyapango	Sin Ejecución
24	Col. Santa María 1	San Martín	Sin Ejecución
25	Col. San José	San Martín	Sin Ejecución
26	Com. Santa Magdalena 2 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
27	Boulevard del Ejército entre Carcel de Mujeres y Aeronaut	Ilopango	Sin Ejecución
28	Carretera de Oro, Lot. Santa María	Ilopango	Sin Ejecución
29	Santa Eduvigis	Ilopango	Sin Ejecución
30	Jardines de San Bartolo (Entrada a Col)	Ilopango	Sin Ejecución
31	Boulevard del Ejército, Puente Eureka, Col. Altos del Boule	Soyapango	Sin Ejecución

DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

PERÍMETRO: 30.90 km
 ÁREA TOTAL: 28.67 km²
 LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL: 5.39 km
 ELEVACIÓN MÁXIMA: 1159 msnm

COMPRESIÓN ADMINISTRATIVA

MUNICIPIO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
SOYAPANGO	10.84	37.81%
ILOPANGO	9.67	33.73%
SAN MARTÍN	5.68	19.74%
TONACATEPEQUE	2.50	8.72%
CUENCA TOTAL	28.67	100.00%

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT
 DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

FUENTE: SIG OPAMSS Y MOP

ESCALA 1:40,000

ANEXO N°4:
Mapa 3.4, CUENCA ALTA DEL RÍO
LAS CAÑAS, VULNERABILIDAD A LA
EROSIÓN

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

MAPA N° 3.4 CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS VULNERABILIDAD A LA EROSIÓN

SIMBOLOGÍA

- | GENERAL | | OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP) | |
|---------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| | RÍO LAS CAÑAS | | FINALIZADA |
| | RÍOS Y QUEBRADAS | | EN EJECUCIÓN |
| | RED VIAL | | SIN EJECUCIÓN |
| | CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS | | |
| | ESTRUCTURAS IMPORTANTES | | |
| | MUNICIPIOS | | |
| | CUERPOS DE AGUA | | |

VULNERABILIDAD A LA EROSIÓN

- Erosion**
- Muy Alta
 - Alta
 - Mediana
 - Baja
 - Nula

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

ID	UBICACIÓN	MUNICIPIO	ESTADO
1	Res. Col. Santa Lucía	Ilopango	Finalizada
2	Urb. Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Finalizada
3	Altos del Boulevard Sector 2	Soyapango	Finalizada
4	Altos del Boulevard Sector 1	Soyapango	Finalizada
5	Col. Llano Verde	Ilopango	En Ejecución
6	Rep. El Carmen	Soyapango	En Ejecución
7	Colonia El Matazano	Soyapango	En Ejecución
8	Com. Italia	Ilopango	En Ejecución
9	Rep. Las Cañas	Ilopango	En Ejecución
10	Urb. El Limón	Soyapango	Sin Ejecución
11	Com. Regalo de Dios, Quebrada Murcia	Soyapango	Sin Ejecución
12	Jardines de San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
13	Puente de la Av. Chaparrastique, Zona Franca San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
14	Col. Guayacan, en C.E	Soyapango	Sin Ejecución
15	Jardines del Pepeto 3	Soyapango	Sin Ejecución
16	Com. Santa Magdalena 1 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
17	Rep. La Campanera	Soyapango	Sin Ejecución
18	Urb. Amatepec	Ilopango	Sin Ejecución
19	Col. Bosques del Río	Ilopango	Sin Ejecución
20	Com. Martínez y Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
21	Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
22	Rep. Los Santos 1	Soyapango	Sin Ejecución
23	Urb. Jardines de Monte Blanco	Soyapango	Sin Ejecución
24	Col. Santa María 1	San Martín	Sin Ejecución
25	Col. San José	San Martín	Sin Ejecución
26	Com. Santa Magdalena 2 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
27	Boulevard del Ejército entre Carretera de Oro y Aeronáutica Civil	Ilopango	Sin Ejecución
28	Carretera de Oro, Lot. Santa María	Ilopango	Sin Ejecución
29	Santa Eduviges	Ilopango	Sin Ejecución
30	Jardines de San Bartolo (Entrada a Col)	Ilopango	Sin Ejecución
31	Boulevard del Ejército, Puente Euréka, Col. Altos del Boulevard	Soyapango	Sin Ejecución

DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

PERÍMETRO	30.90 km
ÁREA TOTAL	28.67 km ²
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	5.39 km
ELEVACIÓN MÁXIMA	1159 msnm

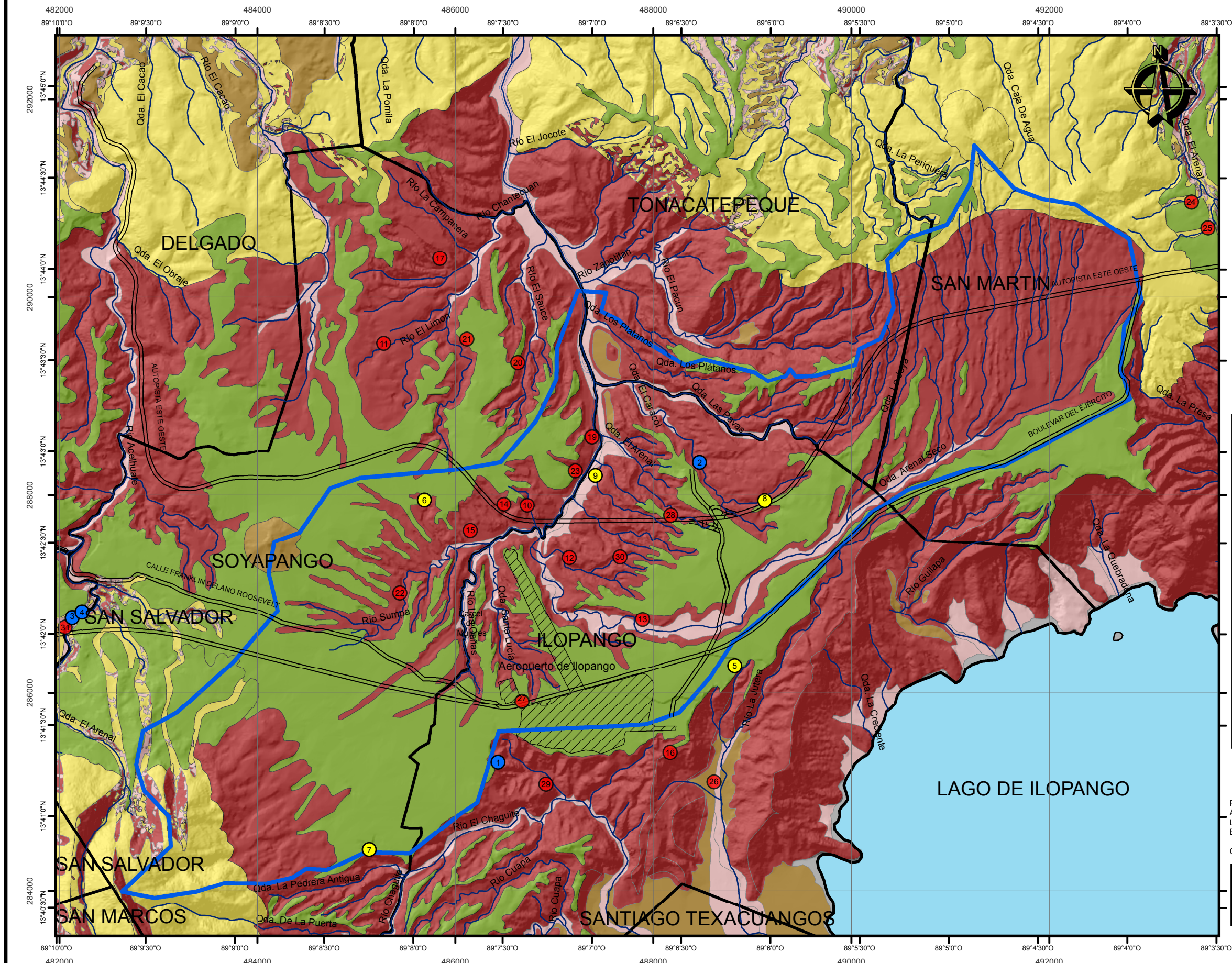
COMPRESIÓN ADMINISTRATIVA

MUNICIPIO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
SOYAPANGO	10.84	37.81%
ILOPANGO	9.67	33.73%
SAN MARTÍN	5.66	19.74%
TONACATEPEQUE	2.50	8.72%
CUENCA TOTAL	28.67	100.00%

PROYECCIÓN CONICA CONFORMAL DE LAMBERT
DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

FUENTE: SIG OPAMSS Y MOP

ESCALA 1:40,000



ANEXO N°5:
Mapa 3.5, CUENCA ALTA DEL RÍO
LAS CAÑAS, ÁREA URBANA

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

MAPA N° 3.5

CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS ÁREA URBANA

SIMBOLOGÍA

GENERAL		OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)	
	RÍO LAS CAÑAS		FINALIZADA
	RÍOS Y QUEBRADAS		EN EJECUCIÓN
	RED VIAL		SIN EJECUCIÓN
	CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS		
	ÁREA URBANA		
	ESTRUCTURAS IMPORTANTES		
	MUNICIPIOS		
	CUERPOS DE AGUA		

OBRAS DE MITIGACIÓN (MOP)

ID	UBICACIÓN	MUNICIPIO	ESTADO
1	Res. Col. Santa Lucía	Ilopango	Finalizada
2	Urb. Cima de San Bartolo 1	Ilopango	Finalizada
3	Altos del Boulevard Sector 2	Soyapango	Finalizada
4	Altos del Boulevard Sector 1	Soyapango	Finalizada
5	Col. Llano Verde	Ilopango	En Ejecución
6	Rep. El Carmen	Soyapango	En Ejecución
7	Colonia El Matazano	Soyapango	En Ejecución
8	Com. Italia	Ilopango	En Ejecución
9	Rep. Las Cañas	Ilopango	En Ejecución
10	Urb. El Limón	Soyapango	Sin Ejecución
11	Com. Regalo de Dios, Quebrada Murcia	Soyapango	Sin Ejecución
12	Jardines de San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
13	Puente de la Av. Chaparrastique, Zona Franca San Bartolo	Ilopango	Sin Ejecución
14	Col. Guayacan, en C.E	Soyapango	Sin Ejecución
15	Jardines del Pepeto 3	Soyapango	Sin Ejecución
16	Com. Santa Magdalena 1 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
17	Rep. La Campanera	Soyapango	Sin Ejecución
18	Urb. Amatepec	Ilopango	Sin Ejecución
19	Col. Bosques del Río	Ilopango	Sin Ejecución
20	Com. Martínez y Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
21	Col. San José 2	Soyapango	Sin Ejecución
22	Rep. Los Santos 1	Soyapango	Sin Ejecución
23	Urb. Jardines de Monte Blanco	Soyapango	Sin Ejecución
24	Col. Santa María 1	San Martín	Sin Ejecución
25	Col. San José	San Martín	Sin Ejecución
26	Com. Santa Magdalena 2 Changallo	Ilopango	Sin Ejecución
27	Boulevard del Ejército entre Car. col. de Mujeres y Aeronautica Civil	Ilopango	Sin Ejecución
28	Carretera de Oro, Lot. Santa María	Ilopango	Sin Ejecución
29	Santa Eduvigis	Ilopango	Sin Ejecución
30	Jardines de San Bartolo (Entrada a Col)	Ilopango	Sin Ejecución
31	Boulevard del Ejército, Puente Eurika, Col. Altos del Boulevard	Soyapango	Sin Ejecución

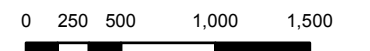
DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LAS CAÑAS

PERÍMETRO	30.90 km
ÁREA TOTAL	28.67 km ²
ÁREA URBANA	21.91 km ²
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	5.39 km
ELEVACIÓN MÁXIMA	1159 msnm

COMPRESIÓN ADMINISTRATIVA

MUNICIPIO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
SOYAPANGO	10.84	37.81%
ILOPANGO	9.67	33.73%
SAN MARTÍN	5.66	19.74%
TONACATEPEQUE	2.50	8.72%
CUENCA TOTAL	28.67	100.00%

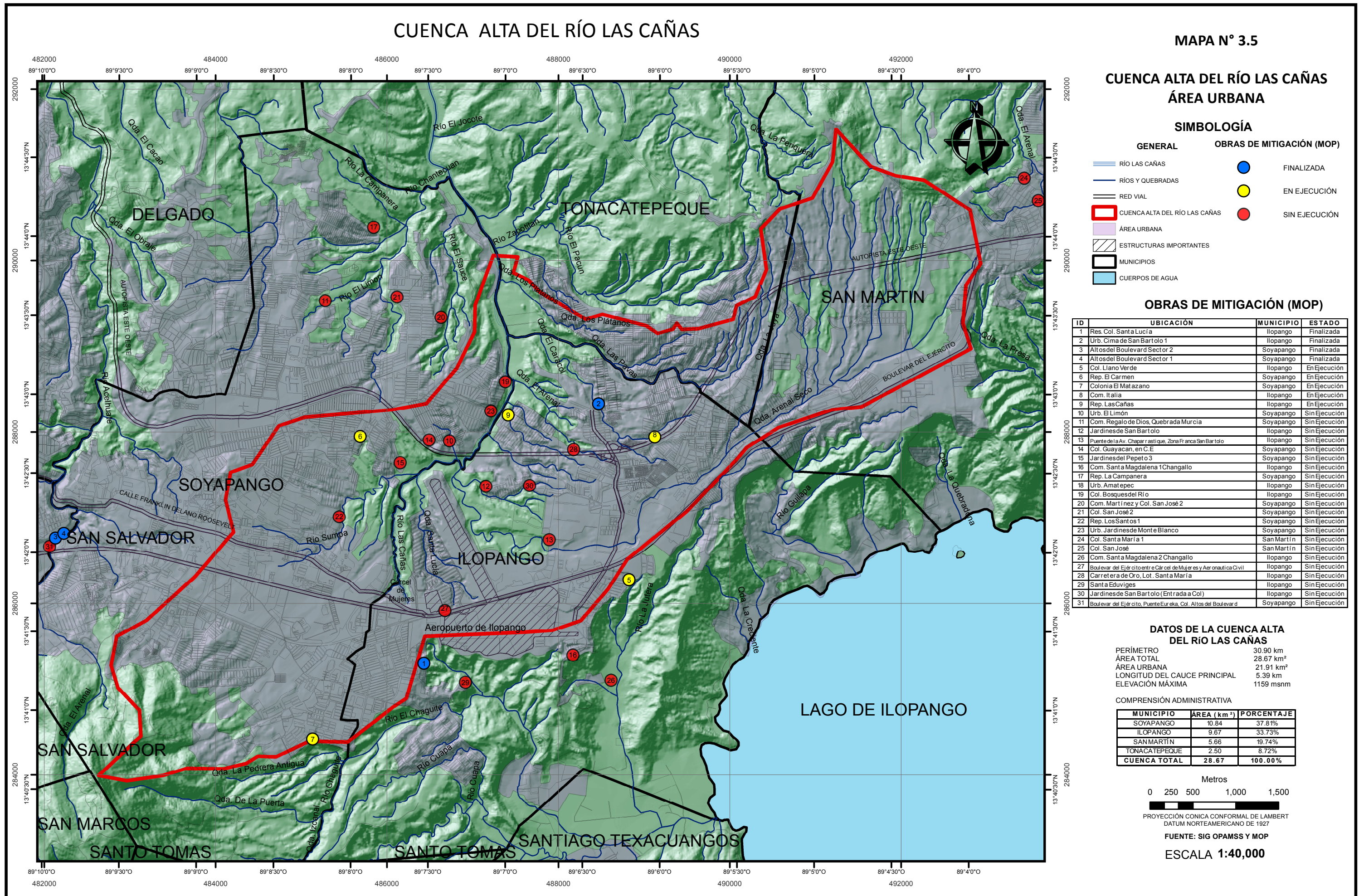
Metros



PROYECCIÓN CONICA CONFORMAL DE LAMBERT
DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

FUENTE: SIG OPAMSS Y MOP

ESCALA 1:40,000



***ANEXO N°6:
FORMATO DE FICHA UTILIZADA EN
EL LEVANTAMIENTO DE
INFORMACIÓN DE CÁRCAVAS***

**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE
CÁRCAVAS**

Ficha No.

Fecha:

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

COORDENADAS

Ubicación

X

Y

Elevación (corona)

2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA

Fecha en que se originó:

Número de viviendas afectadas:

Número de Probables afectados:

Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:

Infraestructura dañada:

3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:

4. FACTOR DETONANTE:

5. DIMENSIONES ESTIMADAS³:

6. TOPOGRAFÍA:

7. COBERTURA VEGETAL:

8. USO DE SUELOS:

Alto

Plana

Nula

Rural

Ancho

Suave

Escasa

Semi Urbano

Largo

Moderada

Media

Urbano

Pendiente

Fuerte

Abundante

9. MATERIALES EXISTENTES

10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:

Existe

No Existe

Descripción

11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA

Carpeta Técnica

Adjudicación

*Intervención

*Finalizada

Ninguna de las anteriores

*Qué Institución realizó las obras de remediación:

12. OBSERVACIONES

13. RECOMENDACIONES

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA

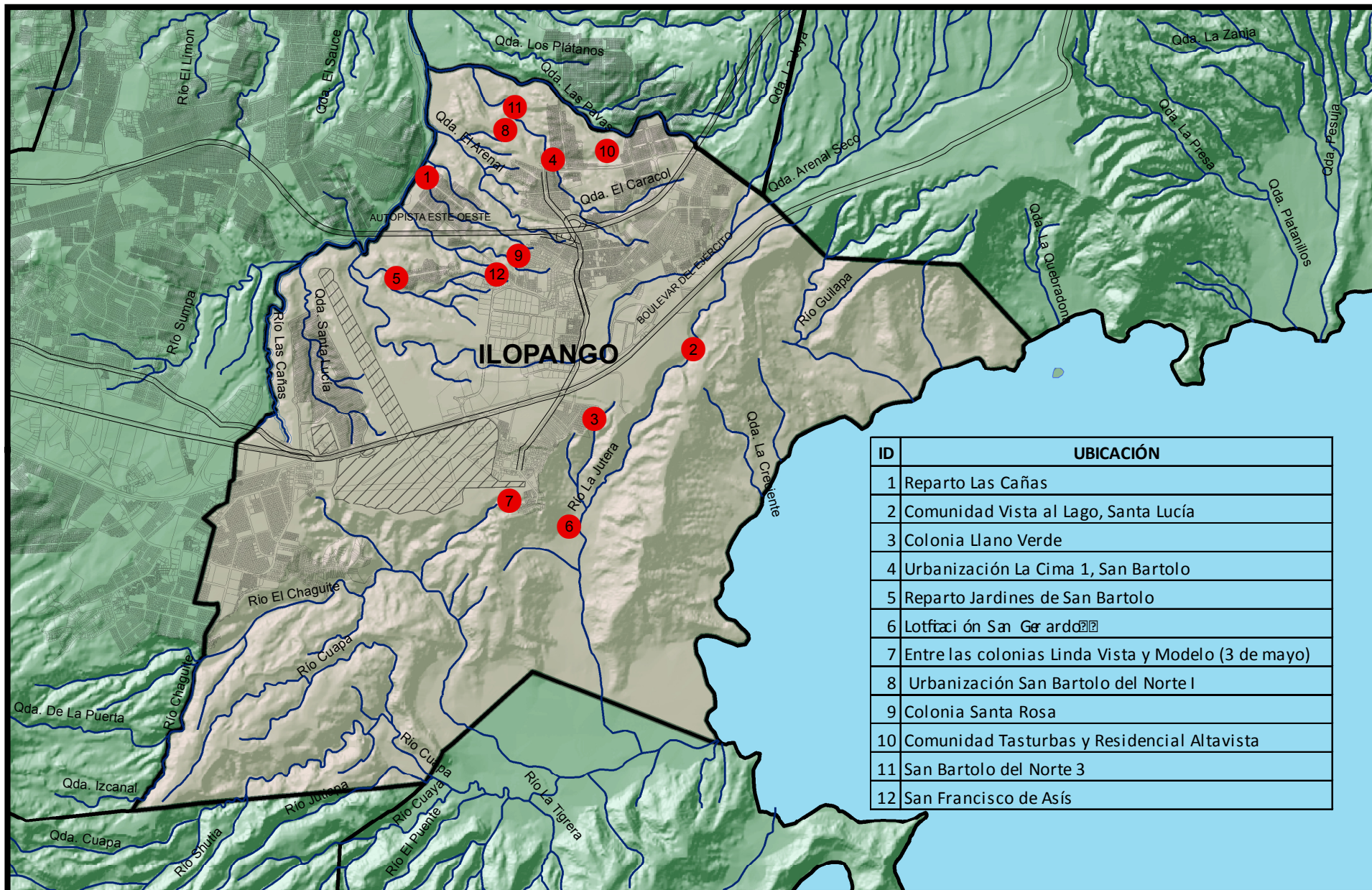
ESQUEMA DE UBICACIÓN

PLANTA

PERFIL

***ANEXO N°7:
FICHAS LLENAS DE
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN
DE LAS CÁRCAVAS VISITADAS***

CÁRCAVAS VISITADAS



ID	UBICACIÓN
1	Reparto Las Cañas
2	Comunidad Vista al Lago, Santa Lucía
3	Colonia Llano Verde
4	Urbanización La Cima 1, San Bartolo
5	Reparto Jardines de San Bartolo
6	Lotificación San Gerardo
7	Entre las colonias Linda Vista y Modelo (3 de mayo)
8	Urbanización San Bartolo del Norte I
9	Colonia Santa Rosa
10	Comunidad Tasturbas y Residencial Altavista
11	San Bartolo del Norte 3
12	San Francisco de Asís

**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE
CÁRCAVAS**

Ficha No.	1
Fecha:	10/03/2011

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS													
Ubicación	Reperto Las Cañas, Municipio de Ilopango,			X	89.11618° W												
	Departamento de San Salvador			Y	13.71504° N												
				Elevación (corona)		577 msnm											
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA																	
Fecha en que se originó:				Tormenta Tropical STAN (2005)													
Número de viviendas afectadas:				No afecta viviendas ¹													
Número de Probables afectados:				No representa un riesgo, ya que están realizando obras de remediación ²													
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				En la corona de la Cárcava													
Infraestructura dañada:				Casas, colector de aguas lluvias de 72", sin obra de descarga.													
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Río Las Cañas													
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de colector de aguas lluvias (Tubería de 72 pulgadas) debido a las Tormentas Tropicales: Ida (2009) y Agatha (2010)													
5. DIMENSIONES ESTIMADAS³:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:											
Alto	30m/30 m	Plana		Nula		Rural											
Ancho	35m/100 m	Suave		Escasa		Semi Urbano											
Largo	65m/150 m	Moderada	X	Media		Urbano	X										
Pendiente	90°/60°	Fuerte		Abundante	X												
9. MATERIALES EXISTENTES																	
Los estratos no se pudieron observar ya que se encontraban realizando conformacion de taludes, sin embargo en los taludes cercanos se observaron estratos de tierra blanca joven conocidas como Arenas Limosas las cuales son muy vulnerables a la erosión al verse expuestas al flujo hídrico.																	
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:																	
Existe		No Existe	X	Descripción	Ya estan desviando las aguas lluvias												
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA																	
				<table border="1"> <tr> <td>Carpeta Técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adjudicación</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Intervención</td> <td align="center">X</td> </tr> <tr> <td>*Finalizada</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ninguna de las anteriores</td> <td></td> </tr> </table>				Carpeta Técnica		Adjudicación		*Intervención	X	*Finalizada		Ninguna de las anteriores	
Carpeta Técnica																	
Adjudicación																	
*Intervención	X																
*Finalizada																	
Ninguna de las anteriores																	
*Qué Institución realizó las obras de remediación:																	
Ministerio de Obras Públicas (MOP)																	
12. OBSERVACIONES																	
¹⁻² En este momento ya no representa un riesgo para los pobladores porque ya están realizando obras de protección pero afectó alrededor de 2,500 personas y 500 viviendas																	
Están realizando obras de conformación de taludes, revegetación, drenaje longitudinal y transversal en el cuerpo de los taludes, drenaje en la corona de la Cárcava para desviar la escorrentía superficial, además están construyendo obras de protección en la descarga de aguas lluvias.																	
³ Se consideran las dimensiones antes y durante la intervención de la Cárcava.																	
13. RECOMENDACIONES																	
Realizar el mantenimiento adecuado para extender la vida útil de las obras de protección.																	

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Conformación de bermas y taludes



Vegetación en los taludes



Obras de descarga de aguas lluvias



Maquinaria pesada utilizada para la terracería



Canaletas en bermas intermedias



Canaleta de mampostería en la corona de la Cárcava

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2008



2010

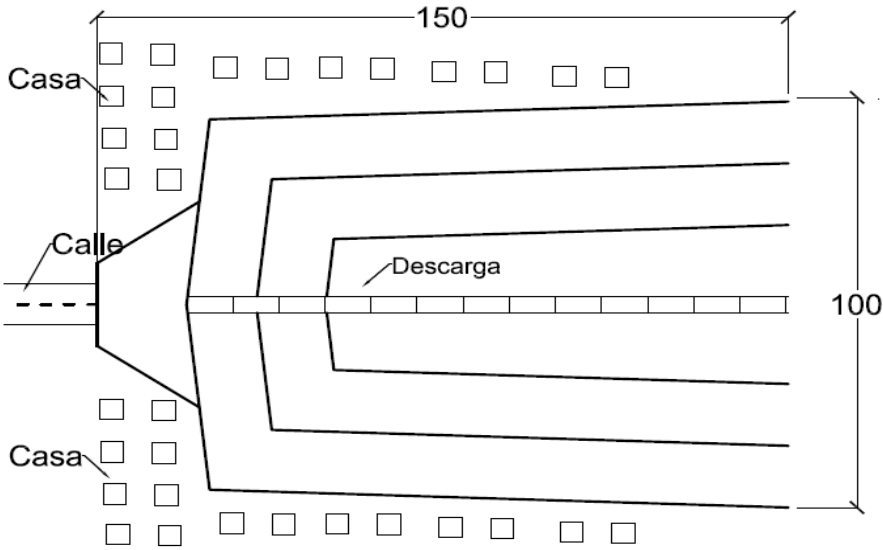


2011

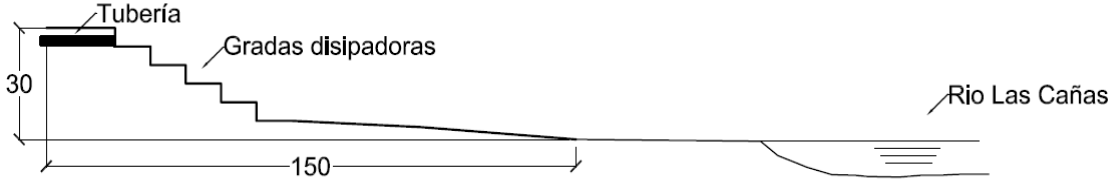


Comparación inicio - final de cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE
CÁRCAVAS**

Ficha No.	2
Fecha:	19/05/2011

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Ubicación	Comunidad Vista al Lago, Santa Lucía, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.	X	89.09576° W
		Y	13.70160° N
		Elevación (corona)	640 msnm
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA			
Fecha en que se originó:		Tormenta tropical Stan (2005)	
Número de viviendas afectadas:		Aproximadamente 15 casas	
Número de Probables afectados:		75 personas	
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:		0 metros desde la corona de la Cárcava a la calle y 5 metros a las casas.	
Infraestructura dañada:		Tuberías y descarga de aguas lluvias.	
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA		Quebrada de invierno, afluente del río La Jutera	
4. FACTOR DETONANTE		Colapso de colector de aguas lluvias	
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:	6. TOPOGRAFÍA:	7. COBERTURA VEGETAL:	8. USO DE SUELOS:
Alto	20 m	Plana	Rural
Ancho	30 m	Suave	Semi Urbano
Largo	10 m	Moderada	X
Pendiente	90°	Fuerte	Urbano
		X	
		Abundante	
9. MATERIALES EXISTENTES			
Estratos de tierra blanca en la que se pueden observar Limos Arenosos con abundante pómez, estos materiales son fácilmente erosionables y en las fotografías se pueden observar los surcos formados por erosión. Además se observan depósitos de basura y ripio en la Cárcava.			
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:			
Existe	X	No Existe	Descripción
			Existe descarga de aguas lluvias
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA			
	Carpeta Técnica		
	Adjudicación		
	*Intervención	X	
	*Finalizada		
	Ninguna de las anteriores		
*Qué Institución realizó las obras de remediación:			
Alcaldía Municipal de Ilopango*			
12. OBSERVACIONES			
*La Alcaldía Municipal ha realizado Obras de Control de Escorrentía Superficial, pero no cuenta con diseño de obras de remediación.			
Los pobladores depositan la basura en la Cárcava.			
El avance del proceso de erosión en la Cárcava pudiera socavar la calle y dejar incomunicadas a las colonias aledañas.			
13. RECOMENDACIONES			
Realizar limpieza en el cuerpo y en el fondo de la Cárcava, además evitar que se siga utilizando como botadero el lugar.			
Reparar el derramadero que se encuentra dañado.			

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Vegetación de la zona



Basura en el cuerpo y fondo de la Cárcava



Derramadero del colector colapsado



Cuneta para el control de escorrentía superficial

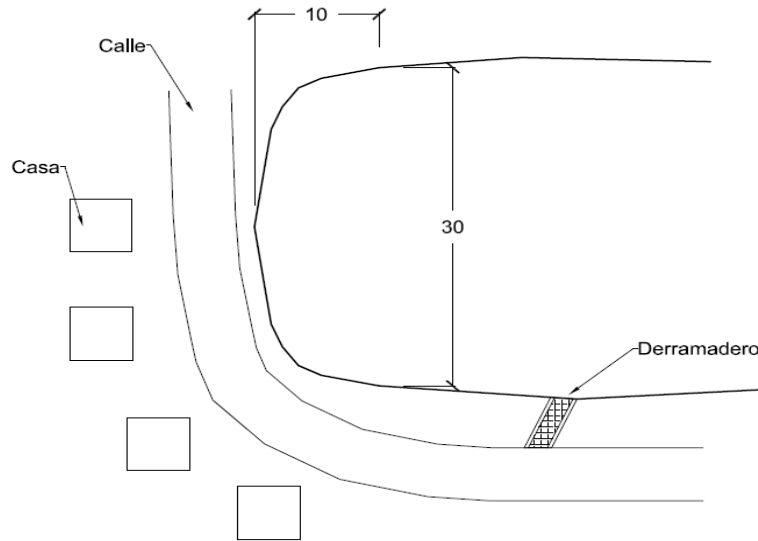


Socavación en los laterales de la Cárcava

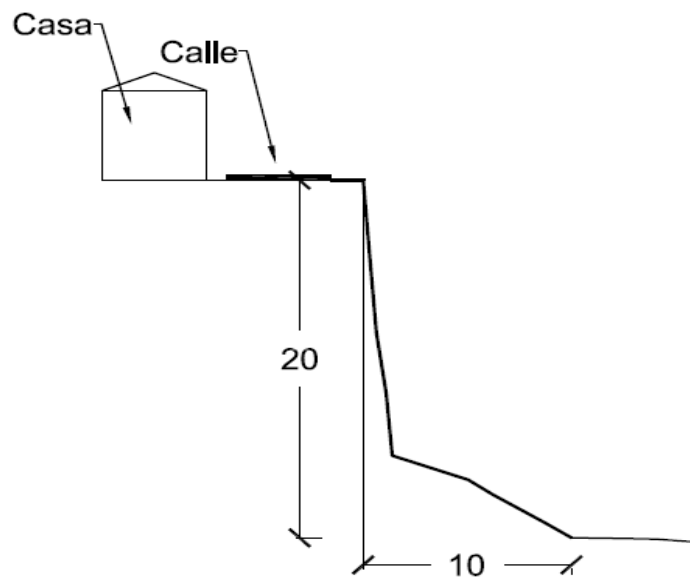


Derramadero colapsado

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 3	
						Fecha: 19/05/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación		Colonia Llano Verde, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.		X	89.10400° W		
				Y	13.69620° N		
Elevación (corona)						635 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta Tropical Stan (2005)			
Número de viviendas afectadas:				100 casas en riesgo			
Número de Probables afectados:				No representa un riesgo porque ya están realizando obras de remediación ¹			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				En la corona de la Cárcava			
Infraestructura dañada:				Casas, tuberías y pozos de aguas lluvias, no posee obra de descarga.			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Quebrada de invierno afluente del río La Jutera			
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de Colector de aguas lluvias Tormentas Tropicales: Ida (2009) y Agatha (2010)			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	40m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	35m	Suave		Escasa	X	Semi Urbano	
Largo	100m	Moderada		Media		Urbano	X
Pendiente	90°	Fuerte	X	Abundante			
9. MATERIALES EXISTENTES							
Estratos de tierra blanca en la que se pueden observar Limos Arenosos con abundante pómez estos materiales son fácilmente erosionables y en las fotografías se pueden observar los surcos formados por erosión.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		No Existe		X	Descripción	Ya estan desviando las aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
Carpeta Técnica							
Adjudicación							
*Intervención				X			
*Finalizada							
Ninguna de las anteriores							
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Ministerio de Obras Públicas (MOP)							
12. OBSERVACIONES							
La Cárcava cuenta con diseño de las obras de Remediación, se encuentran realizando terracería y obras provisionales para desviar el agua proveniente del sistema de aguas lluvias, además han realizado obras de protección en la descarga de aguas lluvias.							
¹ En este momento ya no representa un riesgo para los pobladores porque ya estan realizando obras de remediación pero afectó alrededor de 500 personas							
13. RECOMENDACIONES							
Realizar mantenimiento de las obras de protección cuando se terminen de construir.							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Cuerpo de la Cárcava



Taludes de tierra blanca altamente erosionados



Pozo y tubería colapsados



Tubería colapsada



Construcción de obras de remediación en Cárcava



Obras provisionales durante la construcción de las obras

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2007



2009

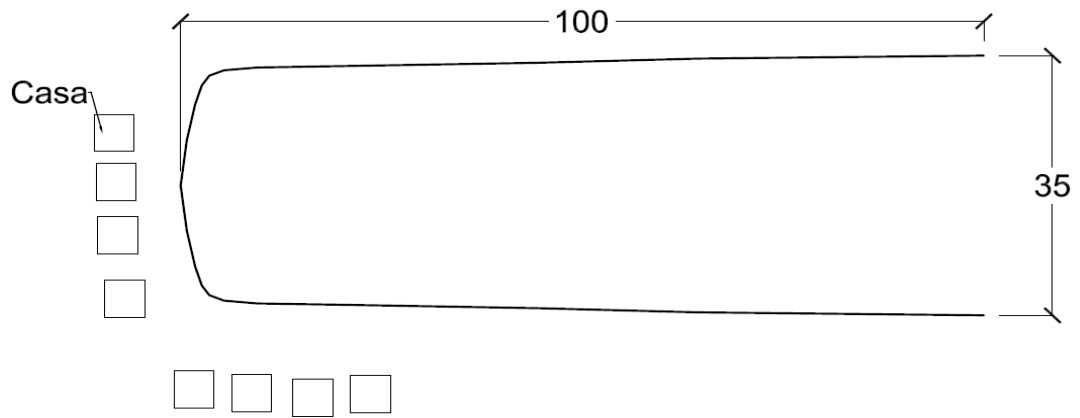


2011

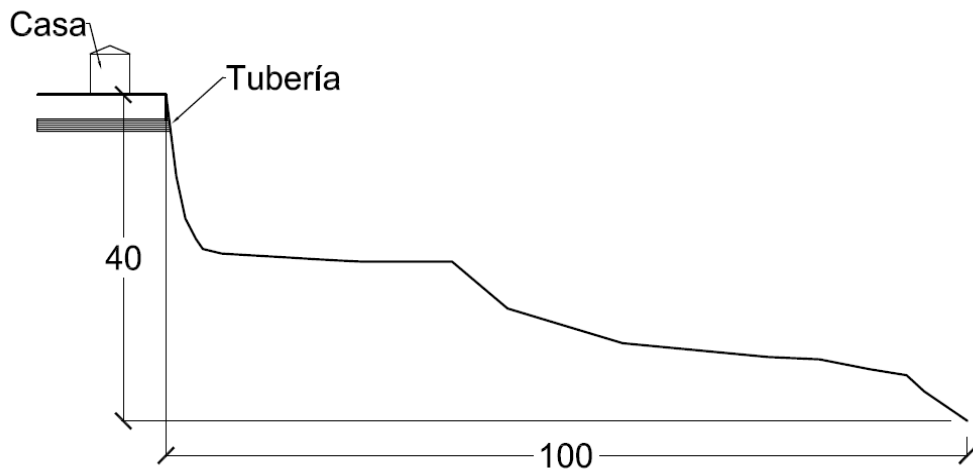


Comparación inicio - final de cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 4	
						Fecha: 19/05/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación		Urbanización La Cima 1 San Bartolo, Ilopango Departamento de San Salvador.		X	89.10658° W		
				Y	13.71709 ° N		
				Elevación (corona)		615 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta Tropical Stan (2005)			
Número de viviendas afectadas:				No afecta viviendas ¹			
Número de Probables afectados:				No representa un riesgo porque ya estan realizando obras de protección ²			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				0 metros desde la corona de la Cárcava a la calle y 5 metros a las casas.			
Infraestructura dañada:				Casas, colector de aguas lluvias y calle de acceso.			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Quebrada El Caracol			
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de colector de aguas lluvias, debido a la Depresión Tropical 16 (2008)			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS³:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	15m/15m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	35m/40m	Suave		Escasa		Semi Urbano	
Largo	55m/55m	Moderada	X	Media		Urbano	X
Pendiente	60°/60°	Fuerte		Abundante	X		
9. MATERIALES EXISTENTES							
Estratos de tierra blanca en la que se pueden observar Limos Arenosos con abundante pómez estos materiales son fácilmente erosionables y en las fotografías se pueden observar los surcos formados por erosión.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		No Existe		X	Descripción	Ya estan desviando las aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
				Carpeta Técnica			
				Adjudicación			
				*Intervención			
				*Finalizada		X	
				Ninguna de las anteriores			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Ministerio de Obras Públicas (MOP)							
12. OBSERVACIONES							
¹⁻² En este momento ya no representa un riesgo para los pobladores porque ya se realizaron las obras de remediación, sin embargo, afectó alrededor de 500 personas, 100 casas y una escuela.							
El Ministerio de Obras Públicas MOP ha realizado obras de remediación que consisten en conformación de taludes en el cuerpo de la Cárcava, revegetación, obras de descarga y protección, además han construido un muro perimetral y colocado malla ciclón para evitar el acceso de las personas.							
³ Se consideran las dimensiones antes y después de la intervención de la Cárcava.							
13. RECOMENDACIONES							
Realizar el mantenimiento adecuado para extender la vida útil de las obras de protección.							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Vista panorámica de Cárcava ya con sus obras de protección finalizadas



En la fotografía se observa la cercanía de las casas a la Cárcava, por lo que han construido un muro y han colocado malla ciclón para evitar el acceso de las personas.



Obra de descarga de las aguas lluvias

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2007



2009

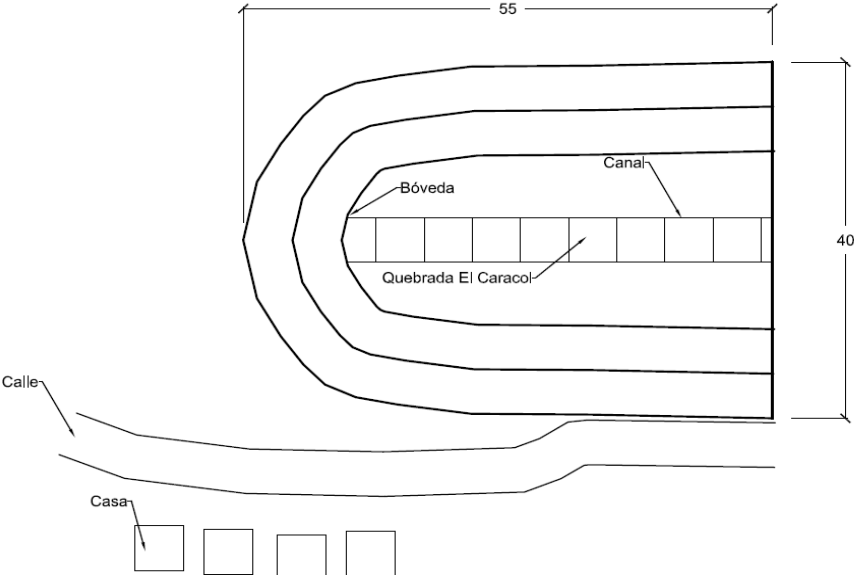


2011

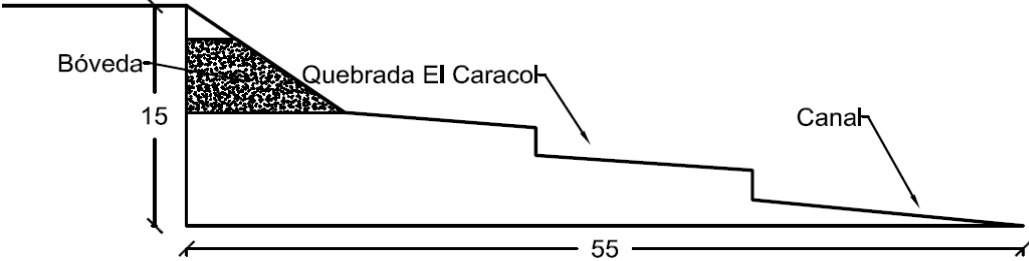


Comparación inicio - final de cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 5	
						Fecha: 19/05/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación	Reparto Jardines de San Bartolo, del Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.			X	89.11878° W		
				Y	13.70784° N		
				Elevación (corona)		603 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Terremoto ocurrido en octubre del año 1986.			
Número de viviendas afectadas:				130 viviendas aproximadamente.			
Número de Probables afectados:				650 personas			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				10 metros hasta la calle			
Infraestructura dañada:				Tubería de 36" y descarga de aguas lluvias.			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:							
				Quebrada Arenal San Bartolo			
4. FACTOR DETONANTE:							
				Colapso de colector de aguas lluvias, debido a las Tormentas Tropicales: Stan (2005), Ida (2009) y Agatha (2010)			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	30 m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	35 m	Suave		Escasa	X	Semi Urbano	
Largo	30 m	Moderada		Media		Urbano	X
Pendiente	85°	Fuerte	X	Abundante			
9. MATERIALES EXISTENTES							
Estratos de Tierra Blanca donde se puede observar Arenas Limosas en algunos estratos muy consolidada, además se pueden identificar suelos aluviales ya que el talud de la Cárcava se encuentra en el margen derecho de la quebrada Arenal San Bartolo.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		X		No Existe		Descripción	
						Existe tubería que descarga aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
				Carpeta Técnica		X	
				Adjudicación			
				*Intervención			
				*Finalizada			
				Ninguna de las anteriores			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Ministerio de Obras Públicas (MOP)							
12. OBSERVACIONES							
Según los habitantes ya tiene diseño de obras de protección.							
13. RECOMENDACIONES							
Se recomienda desviar las aguas lluvias inmediatamente							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Cárcava de Jardines de San Bartolo



Tubería de 36 pulgadas, descarga del colector se observa que no tiene protección



Fondo de la Cárcava



Cauce de la Quebrada Arenal San Bartolo



Fondo de la Quebrada Arenal San Bartolo



Taludes conformados por estratos de Arena Limosa

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2007



2009

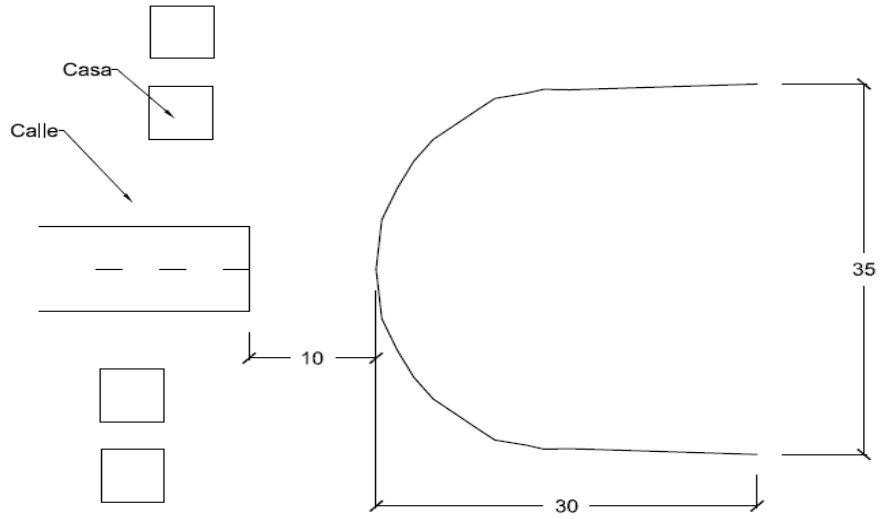


2011

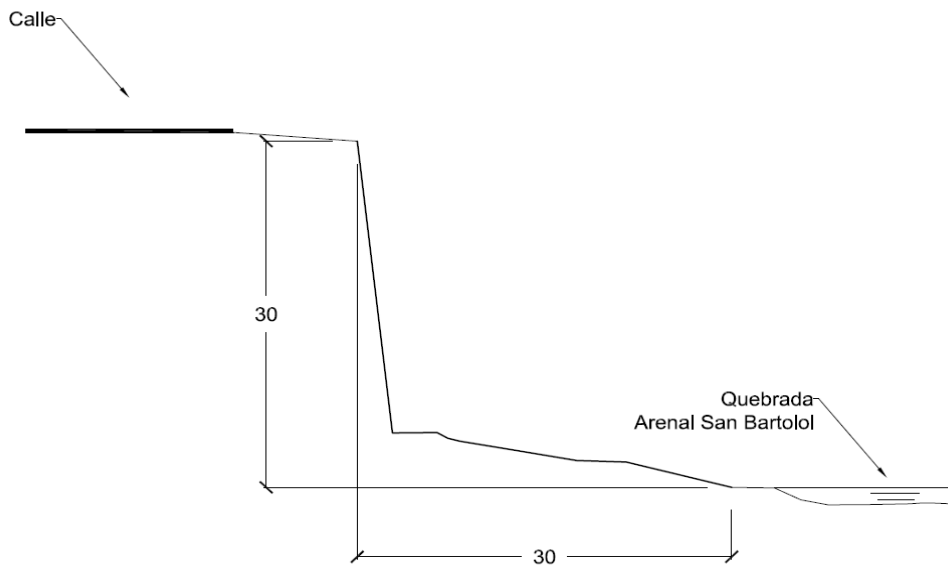


Comparación del año 2002 al año 2011 de la cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 6											
						Fecha: 24/08/2011											
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS													
Ubicación		Lotificación San Gerardo, Municipio de Ilopango Departamento de San Salvador.		X	89.10538° W												
				Y	13.68819° N												
				Elevación (corona)		491 msnm											
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA																	
Fecha en que se originó:				Tormenta tropical Stan (2005)													
Número de viviendas afectadas:				Aproximadamente 5 casas													
Número de Probables afectados:				25 personas													
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				10 metros desde la corona de la cárcava													
Infraestructura dañada:				Muros de gaviones colapsados													
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:																	
				Río La Jutera													
4. FACTOR DETONANTE:																	
				Falta de sistema de drenaje de aguas lluvias, Las aguas escurren superficialmente sobre las vías de acceso.													
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:											
Alto	4 m	Plana		Nula		Rural											
Ancho	8 m	Suave		Escasa		Semi Urbano	X										
Largo	5 m	Moderada	X	Media	X	Urbano											
Pendiente	40°	Fuerte		Abundante													
9. MATERIALES EXISTENTES																	
Se encuentran estratos de arenas aluviales, cantos rodados y en menor cantidad arenas blancas debido a la cercanía del río La Jutera a la Cárcava es que se encuentran materiales aluviales.																	
El suelo por sus características presenta alta humedad y en algunos sectores puede observarse afloramientos de agua entre el cuerpo de la Cárcava.																	
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:																	
Existe		X		No Existe		Descripción											
						Falta de drenaje de aguas lluvias											
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA																	
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Carpeta Técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adjudicación</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Intervención</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Finalizada</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ninguna de las anteriores</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>				Carpeta Técnica		Adjudicación		*Intervención		*Finalizada		Ninguna de las anteriores	X
Carpeta Técnica																	
Adjudicación																	
*Intervención																	
*Finalizada																	
Ninguna de las anteriores	X																
*Qué Institución realizó las obras de remediación:																	
12. OBSERVACIONES																	
Al pie de la Cárcava se encuentran muros de gaviones que a la vez se ubican en la ribera del río La Jutera, estos muros presentan daños y han abonado al crecimiento de la Cárcava.																	
Además no existen drenajes subterráneos que conduzcan las aguas lluvias, estas escurren sobre la superficie de las calles, en su mayoría de tierra.																	
13. RECOMENDACIONES																	
Construir un sistema de drenaje de aguas lluvias.																	
Limpiar la zona y evitar que se continúe usando como botadero.																	

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Erosión lateral en el cauce



Vista de la erosión lateral en el cauce



Vista de perfil del problema erosivo (Cárcava)



Vista aguas abajo de la Cárcava

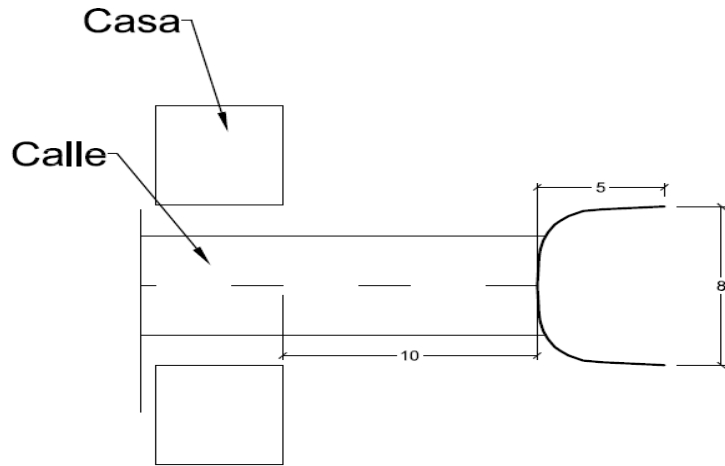


Vista de la vegetación encontrada en el sitio

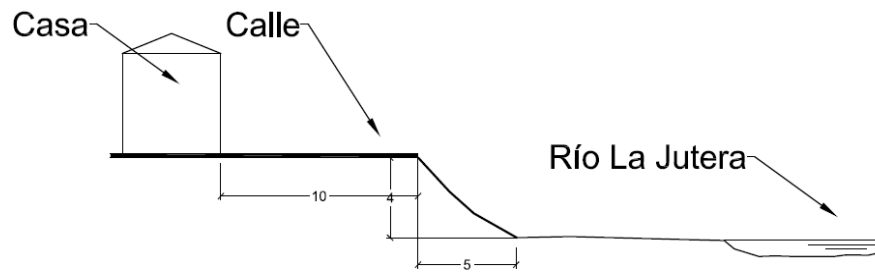


Muros de protección (dañados)

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 7	
						Fecha: 24/08/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA					COORDENADAS		
Ubicación	Entre las colonias Linda Vista y Modelo (3 de mayo), Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.				X	89.10999° W	
					Y	13.69013° N	
					Elevación (corona)		629 msnm
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta tropical Stan (2005)			
Número de viviendas afectadas:				130 casas			
Número de Probables afectados:				650 personas			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				10 metros desde la corona de la Cárcava			
Infraestructura dañada:				Colapso de parte de la estructura de descarga. ¹			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:					Río Chagüite		
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de parte de la obra de descarga del sistema de drenaje de la colonia Linda Vista y la socavación de los taludes laterales del río El Chagüite.			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	20 m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	5 m	Suave		Escasa		Semi Urbano	
Largo	40 m	Moderada		Media		Urbano	X
Pendiente	70°	Fuerte	X	Abundante	X		
9. MATERIALES EXISTENTES							
Se encuentran estratos de tierras blancas, pudiéndose identificar al menos tres estratos en las laderas laterales de la Cárcava							
En algunas partes de los laterales pueden observarse grietas en la parte superior, esto conducirá al colapso de más secciones de suelo de las laderas.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		X		No Existe		Descripción	
						Existe descargas de aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
Carpeta Técnica							
Adjudicación							
*Intervención							
*Finalizada							
Ninguna de las anteriores				X			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
12. OBSERVACIONES							
Puede verse que existe un área de protección en la descarga del sistema hacia el colector (río) El cual está protegido por un muro perimetral y acceso restringido a la población, la vegetación en esta zona es alta.							
Las laderas aguas abajo carecen de lo anterior, está desprotegido el suelo de vegetación y es de fácil acceso a la población siendo esta la zona de mayor riesgo a deslizamiento							
¹ La Cárcava podría dañar algunos hangares e infraestructuras del aeropuerto de Ilopango.							
13. RECOMENDACIONES							
Desviar las aguas lluvias inmediatamente							
Limpiar la zona y evitar que se siga usando como botadero de ripio y basura.							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Descarga de aguas lluvias aguas arriba de la Cárcava



Caída de agua que provoca aumento de la erosión en el cauce



Descarga de aguas lluvias



Erosión lateral en el cauce

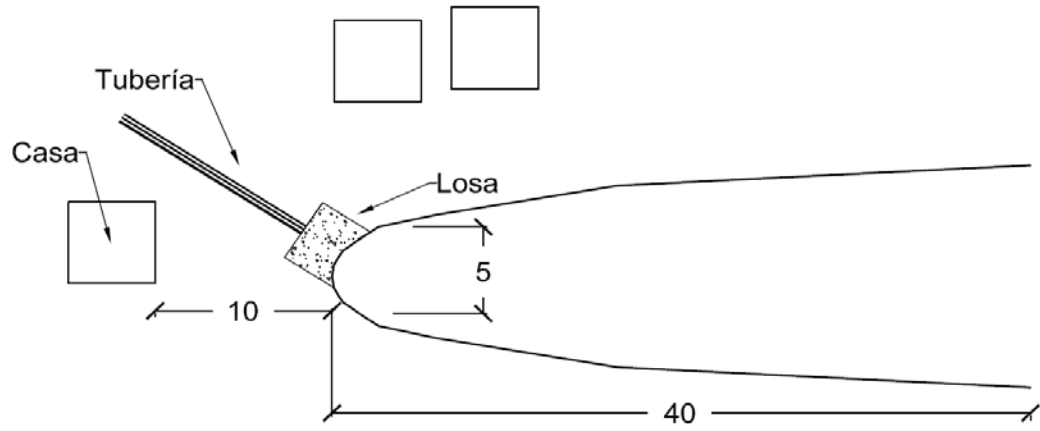


Descarga de aguas lluvias

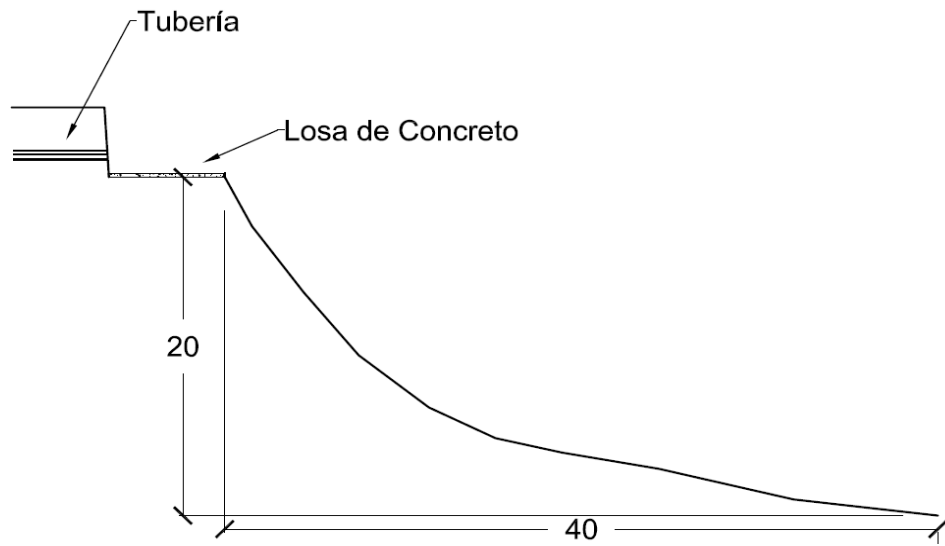


Falla vista en uno de los taludes laterales

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 8	
						Fecha: 24/08/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación		Urbanización San Bartolo del Norte I Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.		X	89.11033° W		
				Y	13.71819° N		
				Elevación (corona)		621 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta Tropical Mitch (1998)			
Número de viviendas afectadas:				12 casas			
Número de Probables afectados:				60 personas			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				5 metros desde la corona de la Cárcava a la calle y 10 metros a las casas.			
Infraestructura dañada:				Colapso de la estructura de descarga de aguas lluvias			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Quebrada El Arenal			
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de estructura de descarga de aguas lluvias			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	25 m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	20 m	Suave		Escasa		Semi Urbano	X
Largo	10 m	Moderada		Media		Urbano	
Pendiente	90°	Fuerte	X	Abundante	X		
9. MATERIALES EXISTENTES							
Se encontraron estratos de Tierras Blancas.							
No se observaron fallas, sin embargo sí se observó afloramientos de agua en algunos puntos del cuerpo de la Cárcava y la pérdida de finos en el suelo .							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		X		No Existe		Descripción	
						Existe tubería que descarga aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
Carpeta Técnica							
Adjudicación							
*Intervención				X			
*Finalizada							
Ninguna de las anteriores							
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Ministerio de Obras Públicas (MOP)							
12. OBSERVACIONES							
Intervención del MOP en la realización de un pozo y caja colectoras de aguas negras y lluvias.							
No se han realizado obras para estabilizar el talud, en áreas adyacente y cercanas a la Cárcava se ve la aparición de huecos donde los finos del material (tierra blanca) han sido transportados; se pudo observar que del pozo de captación sale una tubería corrugada de 30 pulgadas.							
13. RECOMENDACIONES							
Realizar obras para estabilizar los taludes de la Cárcava.							
Realizar el mantenimiento adecuado al sistema de drenaje de aguas lluvias							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Vista hacia la Cárcava (cuerpo y pie)



Pozo de aguas lluvias construido recientemente



Vista de laderas de la Cárcava y vegetación existente en la zona



Vista de la corona de la Cárcava

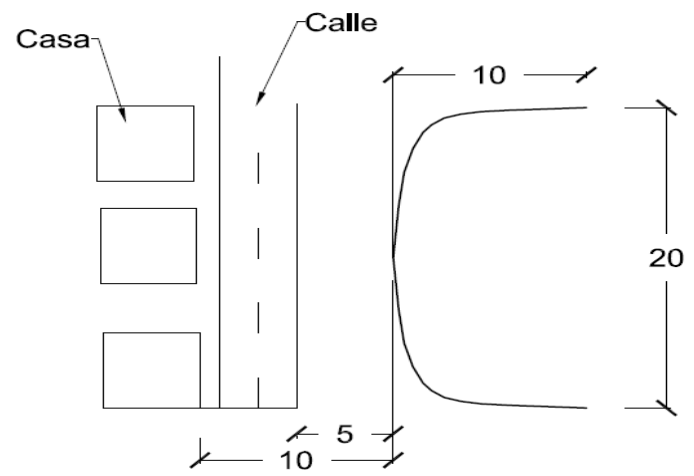


Agujero encontrado en ladera de la Cárcava

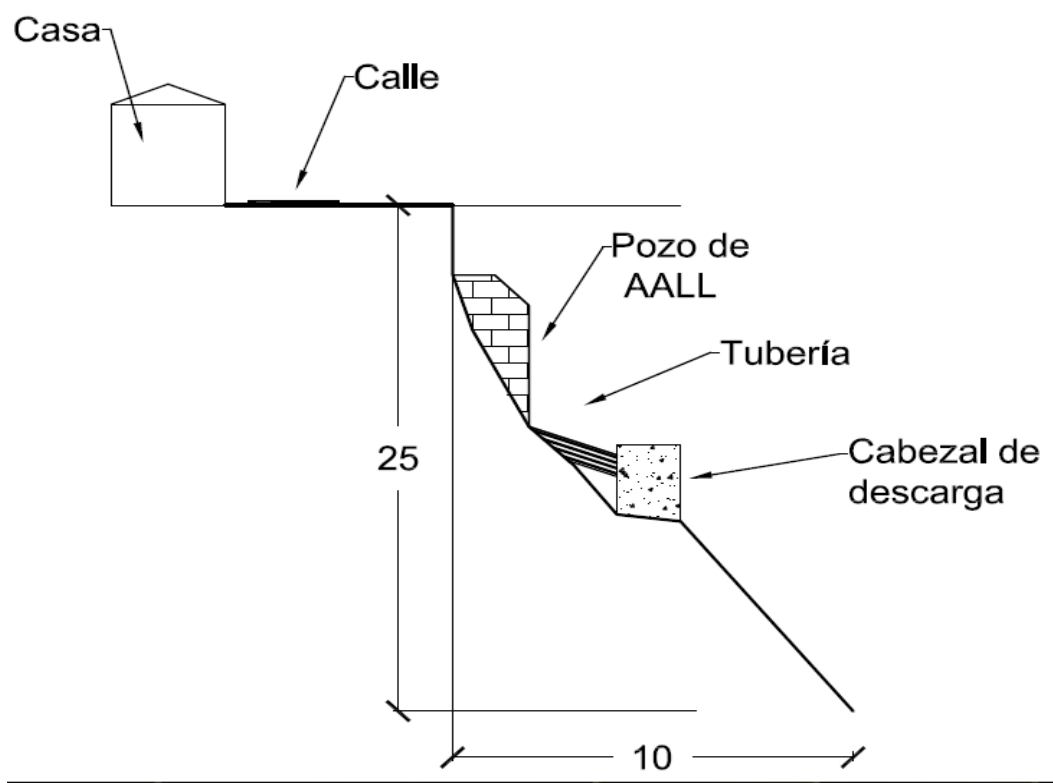


Agujero encontrado en uno de las laderas de la Cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 9	
						Fecha: 23/11/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación		Colonia Santa Rosa, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.		X	89.10931° W		
				Y	13.70870° N		
				Elevación (corona)		634 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta tropical Stan (2005)			
Número de viviendas afectadas:				10 casas en riesgo			
Número de Probables afectados:				50 personas			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				En la corona de la cárcava			
Infraestructura dañada:				Casas, tuberías y pozos de aguas lluvias y sistema de descarga.			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Quebrada de invierno, afluente del río Las Cañas			
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de colector de aguas lluvias, debido a Tormentas Tropicales: Ida (2009) y Ágatha (2010)			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	20 m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	15 m	Suave		Escasa	X	Semi Urbano	
Largo	40 m	Moderada		Media		Urbano	X
Pendiente	85°	Fuerte	X	Abundante			
9. MATERIALES EXISTENTES							
Se identificaron estratos de Tierra Blanca, observándose Arenas Limosas, además se observaron estratos de relleno conformado por ripio y basura.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		X		No Existe		Descripción	
						Existe tubería que descarga aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
				Carpeta Técnica		X	
				Adjudicación			
				*Intervención			
				*Finalizada			
				Ninguna de las anteriores			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Alcaldía Municipal de Ilopango							
12. OBSERVACIONES							
Ya se tiene diseño de las obras de remediación a la Cárcava. El diseño lo realizaron en condiciones diferentes debido a que ha avanzado más la Cárcava.							
El sitio es utilizado como un botadero de ripio y basura.							
13. RECOMENDACIONES							
Desviar las aguas lluvias inmediatamente.							
Limpiar de zona de la basura y el ripio, y evitar que se siga utilizando como botadero							
Estabilizar los taludes							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Pozo y Tubería de Agua Lluvias deteriorada

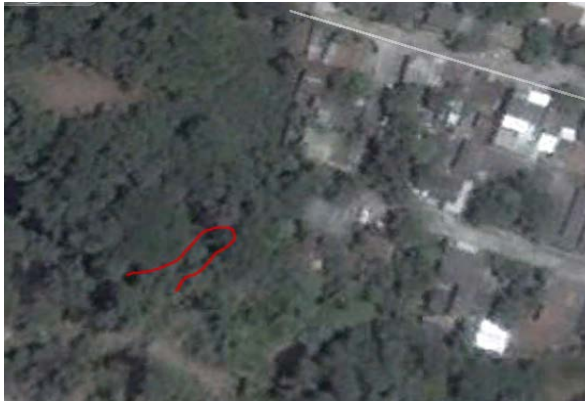


Ripio existente en la zona



Material inestable

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2007



2009

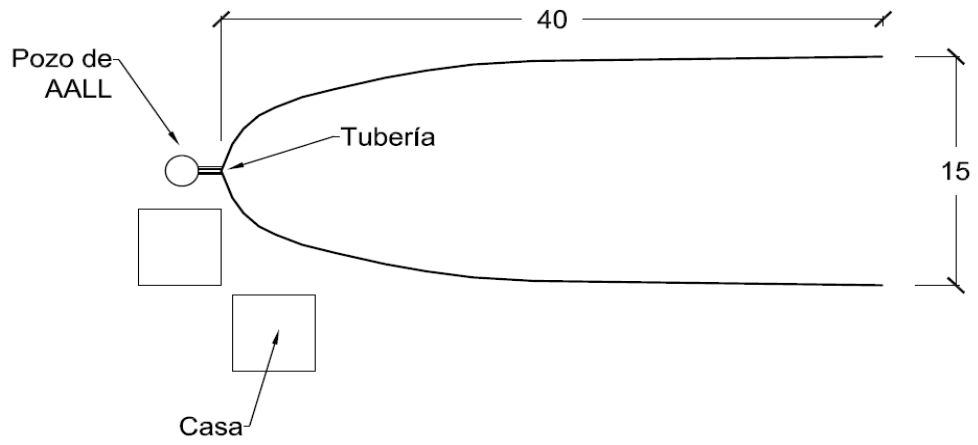


2011

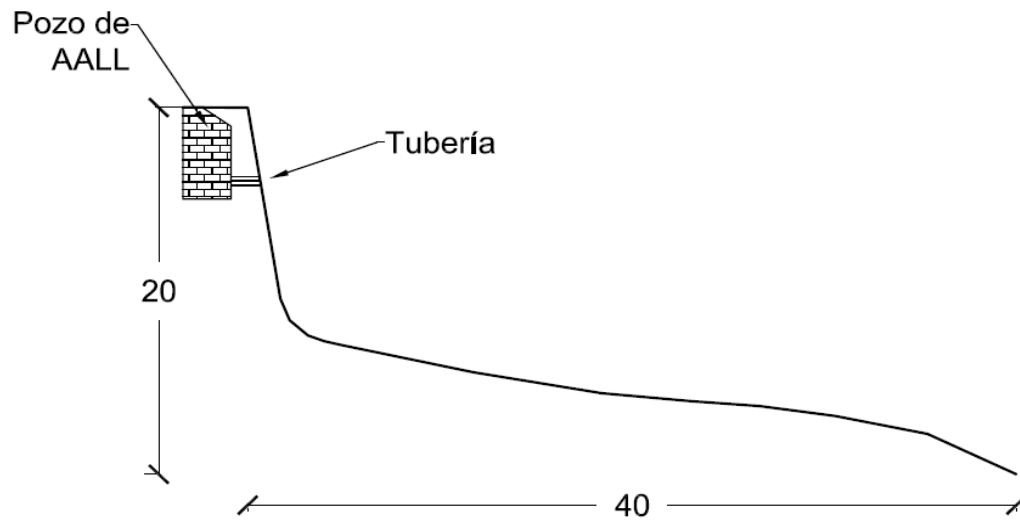


Comparación inicio - final de cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 10	
						Fecha: 23/11/2011	
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS			
Ubicación		Comunidad Tasturbas y Residencial Altavista Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.		X	89.10246° W		
				Y	13.71664° N		
Elevación (corona)						635 msnm	
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA							
Fecha en que se originó:				Tormenta tropical Ida (2009)			
Número de viviendas afectadas:				45 casas en riesgo			
Número de Probables afectados:				225 personas			
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				10 metros de distancia hasta la calle			
Infraestructura dañada:				Descarga de Tubería de Aguas Lluvias de 30 pulgadas de diámetro			
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:				Quebrada las Pavas			
4. FACTOR DETONANTE:				Colapso de colector de aguas lluvias			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:	
Alto	3 m	Plana		Nula		Rural	
Ancho	5 m	Suave		Escasa		Semi Urbano	
Largo	4 m	Moderada		Media	X	Urbano	X
Pendiente	80º	Fuerte	X	Abundante			
9. MATERIALES EXISTENTES							
Se identificó estratos de Tierra Blanca con alta humedad cercanos al pie de la Cárcava.							
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:							
Existe		X		No Existe		Descripción	
						Existe tubería que descarga aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA							
				Carpeta Técnica		X	
				Adjudicación			
				*Intervención			
				*Finalizada			
				Ninguna de las anteriores			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:							
Alcaldía Municipal de Ilopango							
12. OBSERVACIONES							
Alcaldía de Ilopango ha realizado Levantamiento Topográfico.							
La Tubería en colapso por falta de mantenimiento.							
El agua sube de 30 a 50 cm en las casas ubicadas al final de la descarga por estar al mismo nivel de descarga.							
13. RECOMENDACIONES							
Desviar las aguas lluvias inmediatamente							
Darle mantenimiento a la tubería y al canal que descargan aguas lluvias							
Limpiar la zona, principalmente en la zona donde están colocados los disipadores de energía							

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Tubería de ALL dañada



Canal de descarga de agua lluvia



Canal de descarga de ALL dañado



Disipadores de energía dañados y obstruidos por basura

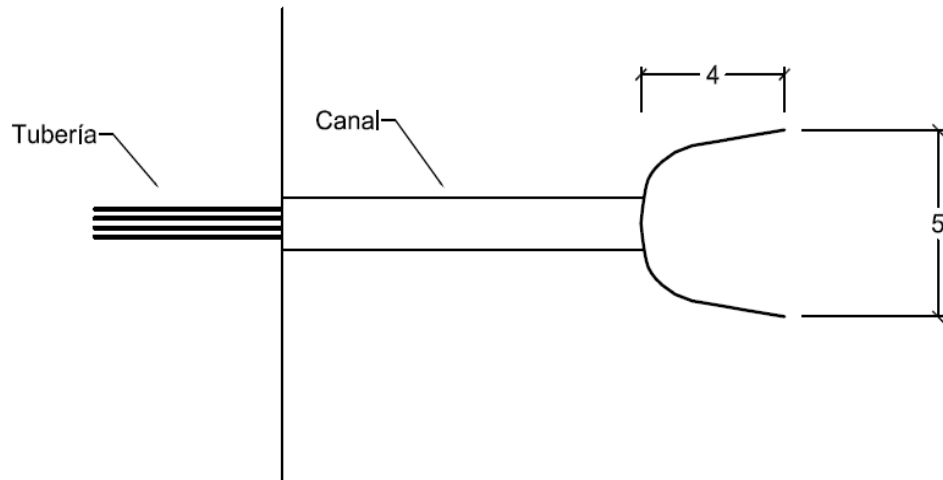


Material inestable

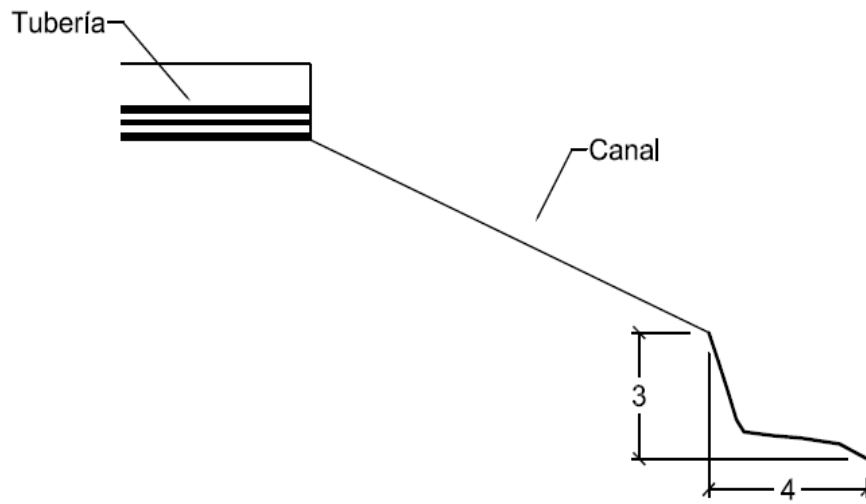


Material inestable

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE
CÁRCAVAS**

Ficha No.	11
Fecha:	23/11/2011

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS			
Ubicación	San Bartolo del Norte 3, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador	X	89.10958° W		
		Y	13.71994° N		
		Elevación (corona)	588 msnm		
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA					
Fecha en que se originó:	Tormenta tropical Stan (2005)				
Número de viviendas afectadas:	5 casas en riesgo				
Número de Probables afectados:	25 personas				
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:	30 m a la planta de tratamiento y 50m a las casas				
Infraestructura dañada:	Colapso de descarga de tubería de Aguas Negras de 6" y canaleta de aguas lluvias.				
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:		Quebrada El Caracol			
4. FACTOR DETONANTE:		Colapso de descarga de Aguas Lluvias, debido a las Tormentas Tropicales: Ida (2009) y Agatha (2010)			
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:	6. TOPOGRAFÍA:	7. COBERTURA VEGETAL:	8. USO DE SUELOS:		
Alto	25 m	Plana	Nula	Rural	
Ancho	15 m	Suave	Escasa	Semi Urbano	X
Largo	10 m	Moderada	Media	Urbano	
Pendiente	85°	Fuerte	X	Abundante	
9. MATERIALES EXISTENTES					
Se identificó que todo el cuerpo del talud se encuentra conformado por Tierra Blanca Joven, específicamente Arena Limosa, ésta presentaba alta humedad pues se sigue descargando las aguas provenientes de una planta de tratamiento de aguas negras sobre la Cárcava.					
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:					
Existe	X	No Existe	Descripción	Existe canaleta que descarga aguas lluvias	
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA					
Carpeta Técnica					
Adjudicación					
*Intervención					
*Finalizada					
Ninguna de las anteriores		X			
*Qué Institución realizó las obras de remediación:					
12. OBSERVACIONES					
El avance de la Cárcava pone en riesgo una planta de tratamiento de aguas negras localizada a 30m de la corona de la Cárcava Debido al colapso de la tubería, se utiliza una canaleta para descargar aguas negras y lluvias.					
13. RECOMENDACIONES					
Desviar las aguas lluvias inmediatamente					

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Vista Frontal de la Cárcava



Descarga de Aguas Negras



Vista a Quebrada El Caracol desde Cárcava



Canaleta de descarga de Aguas Negras y Lluvias, ubicada en la corona de la Cárcava

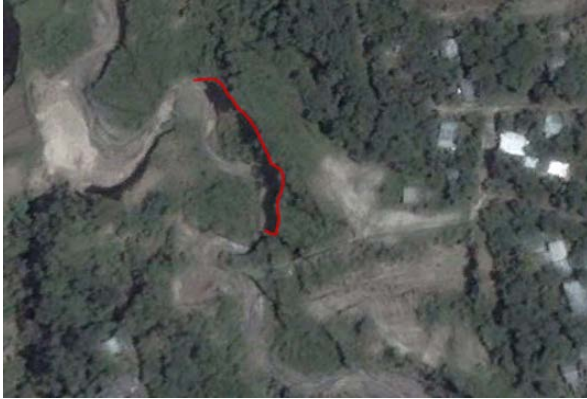


Descarga de aguas negras y lluvias Canaleta



Planta de Tratamiento de aguas negras en peligro de ser arrasada por la Cárcava

REGISTRO DEL AVANCE DE LA CARCAVA



2005



2008



2010

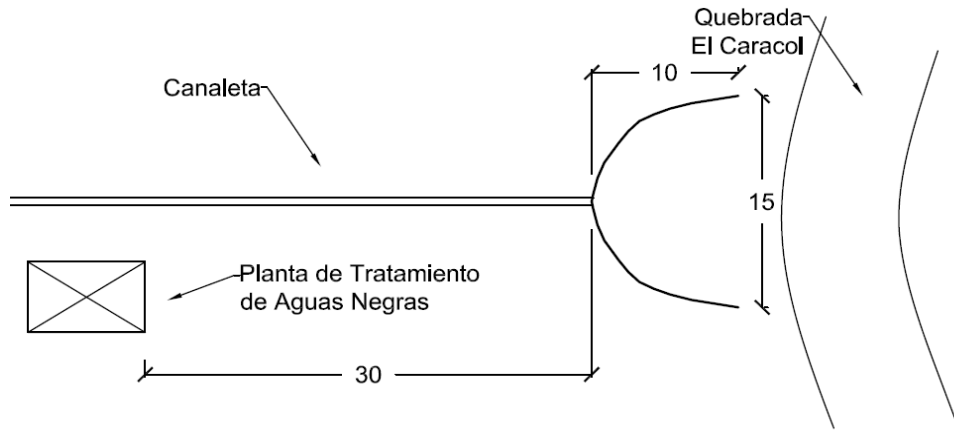


2011

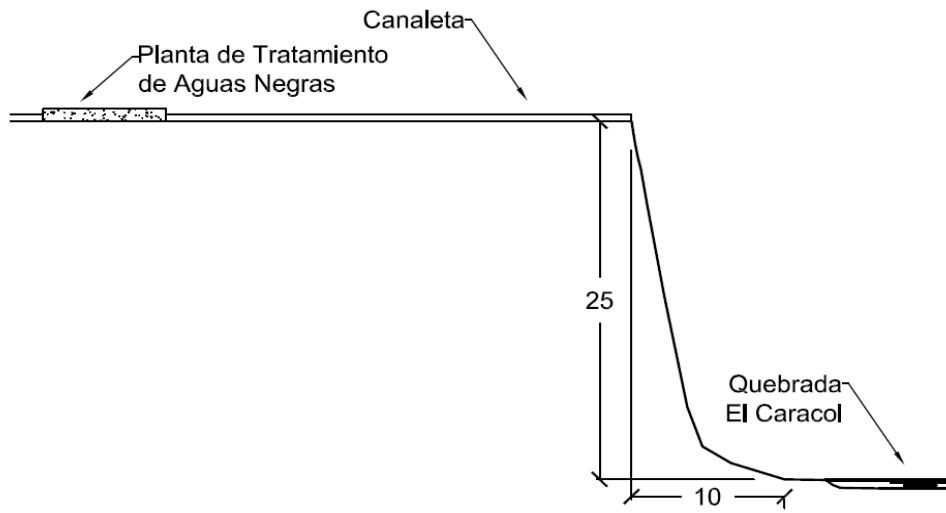


Comparación inicio - final de cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN



PLANTA



PERFIL

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN SOBRE CÁRCAVAS						Ficha No. 12											
						Fecha: 23/11/2011											
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA				COORDENADAS													
Ubicación		San Francisco de Asís, Municipio de Ilopango, Departamento de San Salvador.		X	89.11101° W												
				Y	13.70728° N												
				Elevación (corona)		632 msnm											
2. DATOS GENERALES DE LA CÁRCAVA																	
Fecha en que se originó:				Terremoto de octubre de 1986													
Número de viviendas afectadas:				3 casas en riesgo													
Número de Probables afectados:				15 personas													
Distancia de la Cárcava a las infraestructuras más cercanas:				5 m de la corona de la Cárcava													
Infraestructura dañada:				Colapso de tubería de aguas lluvias y negras ¹													
3. CUERPO HÍDRICO PRESENTE RÍO/QUEBRADA:																	
				Quebrada Arenal de San Bartolo													
4. FACTOR DETONANTE:																	
				Ruptura de tubería de aguas lluvias por falta de capacidad las tuberías llegan a funcionar bajo presión durante eventos climáticos *													
5. DIMENSIONES ESTIMADAS:		6. TOPOGRAFÍA:		7. COBERTURA VEGETAL:		8. USO DE SUELOS:											
Alto	8 m	Plana		Nula		Rural											
Ancho	15 m	Suave		Escasa		Semi Urbano											
Largo	20 m	Moderada		Media	X	Urbano	X										
Pendiente	85°	Fuerte	X	Abundante													
9. MATERIALES EXISTENTES																	
Se pudo identificar que los taludes eran conformados por Tierras Blancas, no se encontró fallas.																	
En algunas zonas cercanas al pie de la Cárcava se pudo observar material con alta humedad.																	
10. PROBABILIDAD A SUFRIR EFECTOS EROSIVOS POR DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS Y/O AGUAS NEGRAS SOBRE LOS TALUDES:																	
Existe		X		No Existe		Descripción											
						Existe tubería que descarga aguas lluvias											
11. PROCESO DE INTERVENCIÓN EN LA CÁRCAVA																	
				<table border="1"> <tr> <td>Carpeta Técnica</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adjudicación</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Intervención</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Finalizada</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ninguna de las anteriores</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>				Carpeta Técnica		Adjudicación		*Intervención		*Finalizada		Ninguna de las anteriores	X
Carpeta Técnica																	
Adjudicación																	
*Intervención																	
*Finalizada																	
Ninguna de las anteriores	X																
*Qué Institución realizó las obras de remediación:																	
Alcaldía Municipal de Ilopango																	
12. OBSERVACIONES																	
¹ Eventos climáticos como tormentas de gran intensidad y duración.																	
13. RECOMENDACIONES																	
Desviar las aguas lluvias inmediatamente																	
Reparar el sistema de drenaje de aguas lluvias																	
Limpiar la zona y evitar que sigan arrojando basura																	

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CÁRCAVA



Vista de tuberías dañadas



Socavación por caída de agua



Taludes inestables aledaños a la Cárcava



Cárcava vista frontal

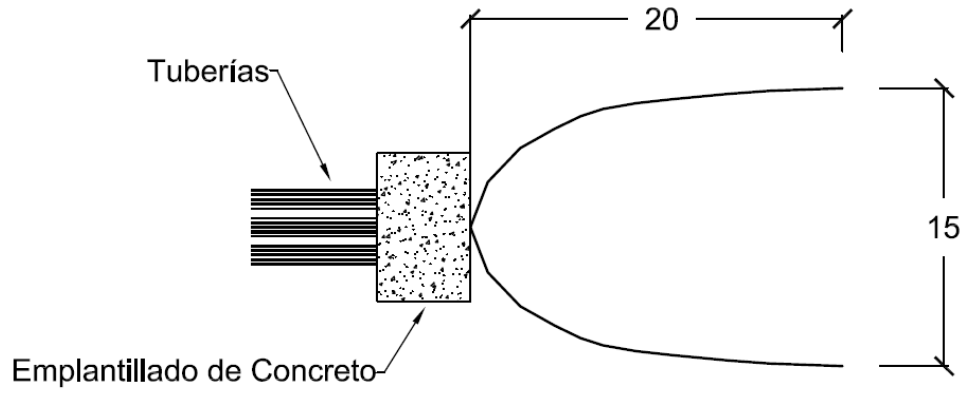


Basura en la base de la Cárcava

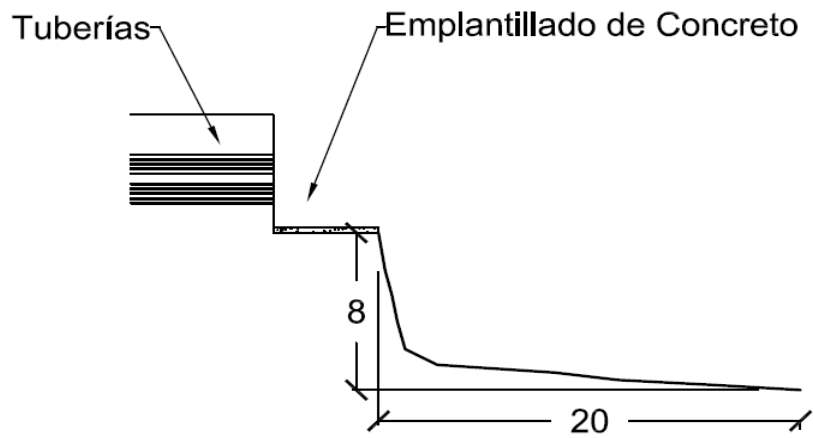


Taludes de la Cárcava

ESQUEMA DE UBICACIÓN

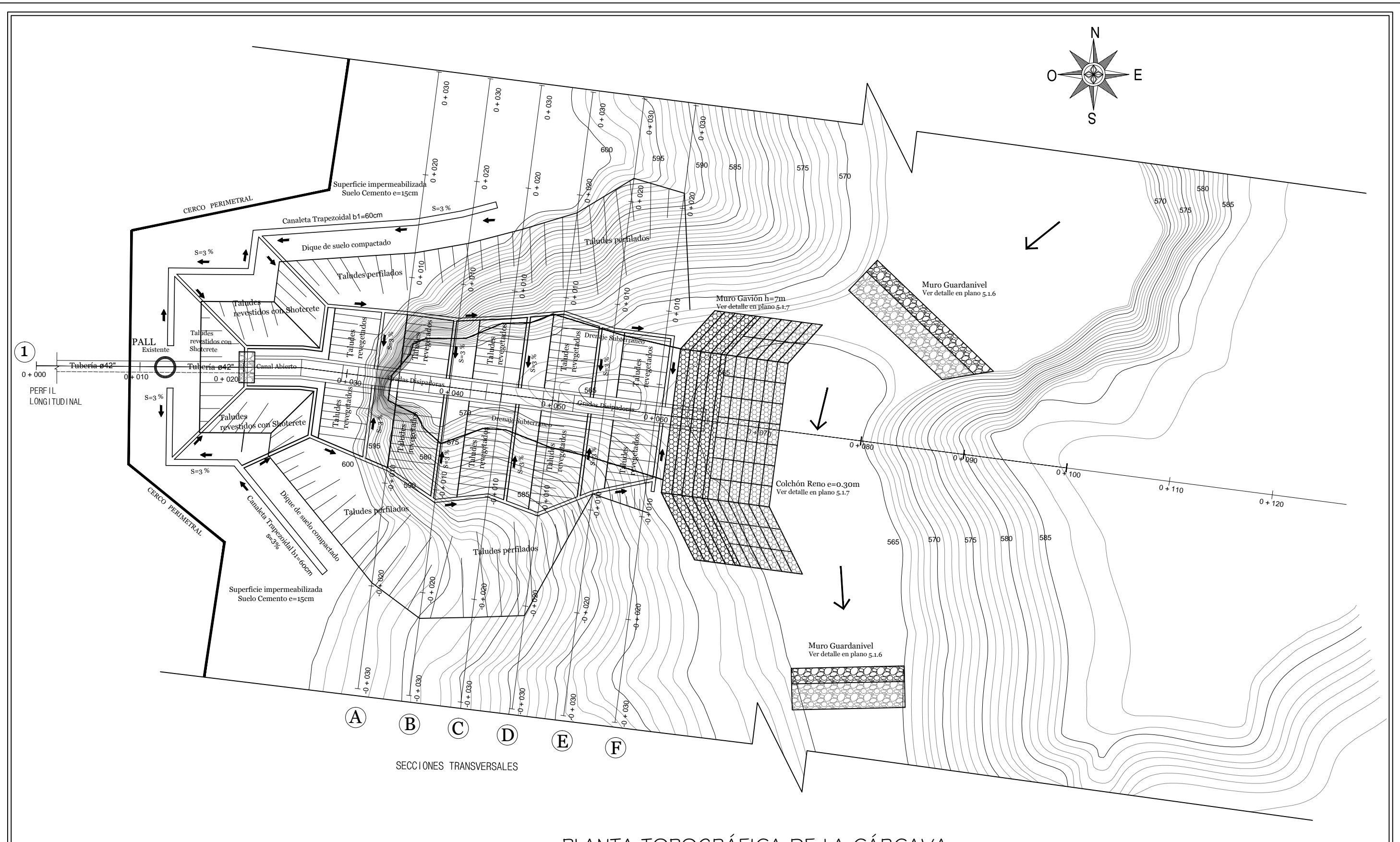


PLANTA



PERFIL

***ANEXO N°8:
PLANOS DE ALTERNATIVA DE
SOLUCIÓN N°1***



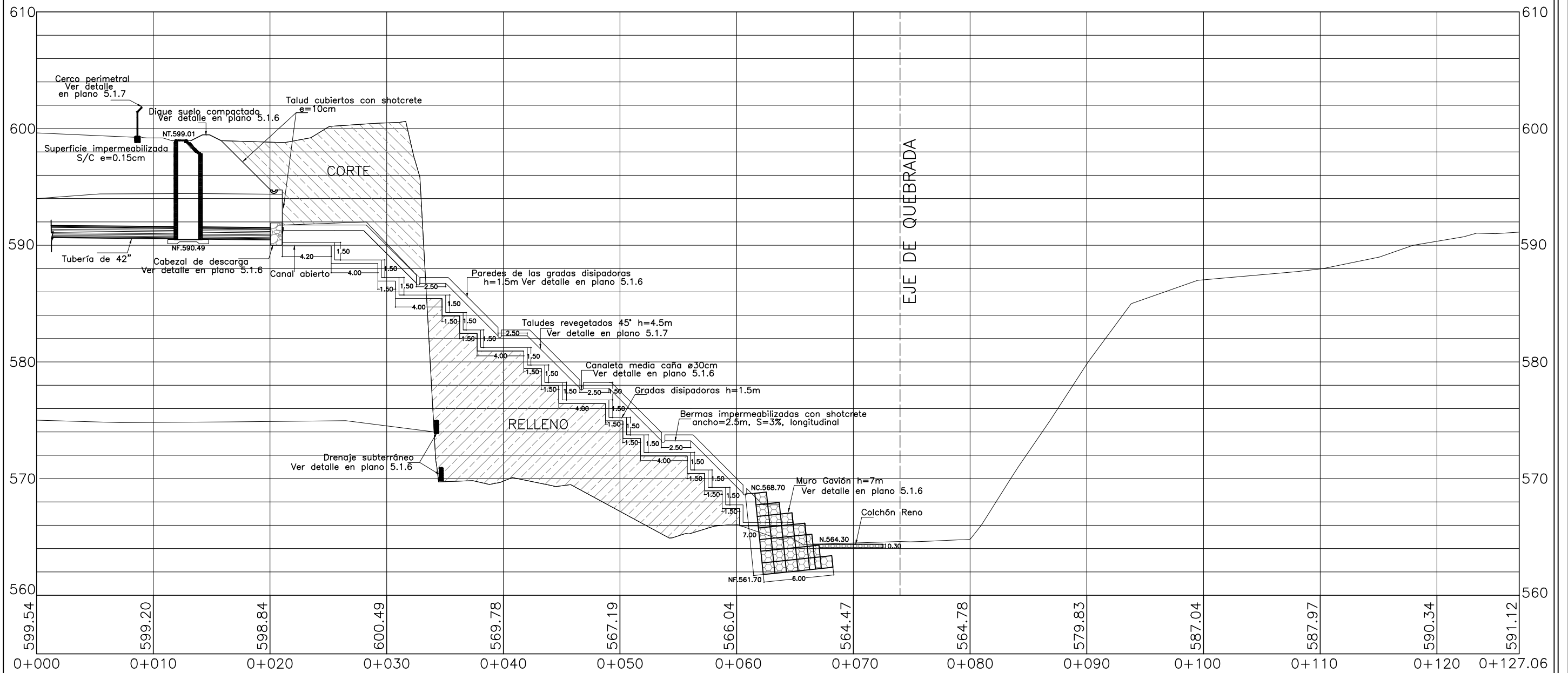
PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1

PLANO N° 5.1.1

ESCALA 1:350



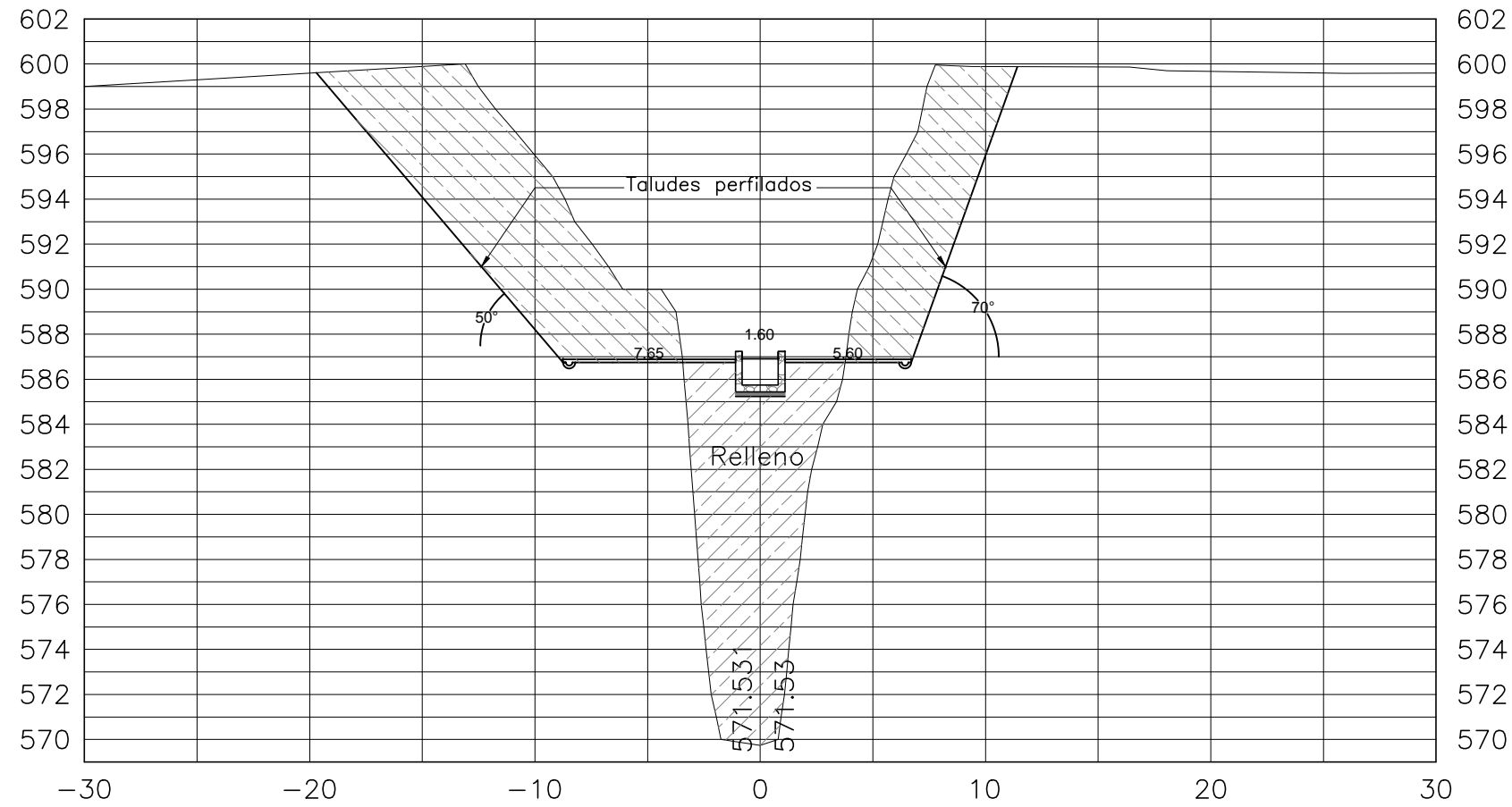
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

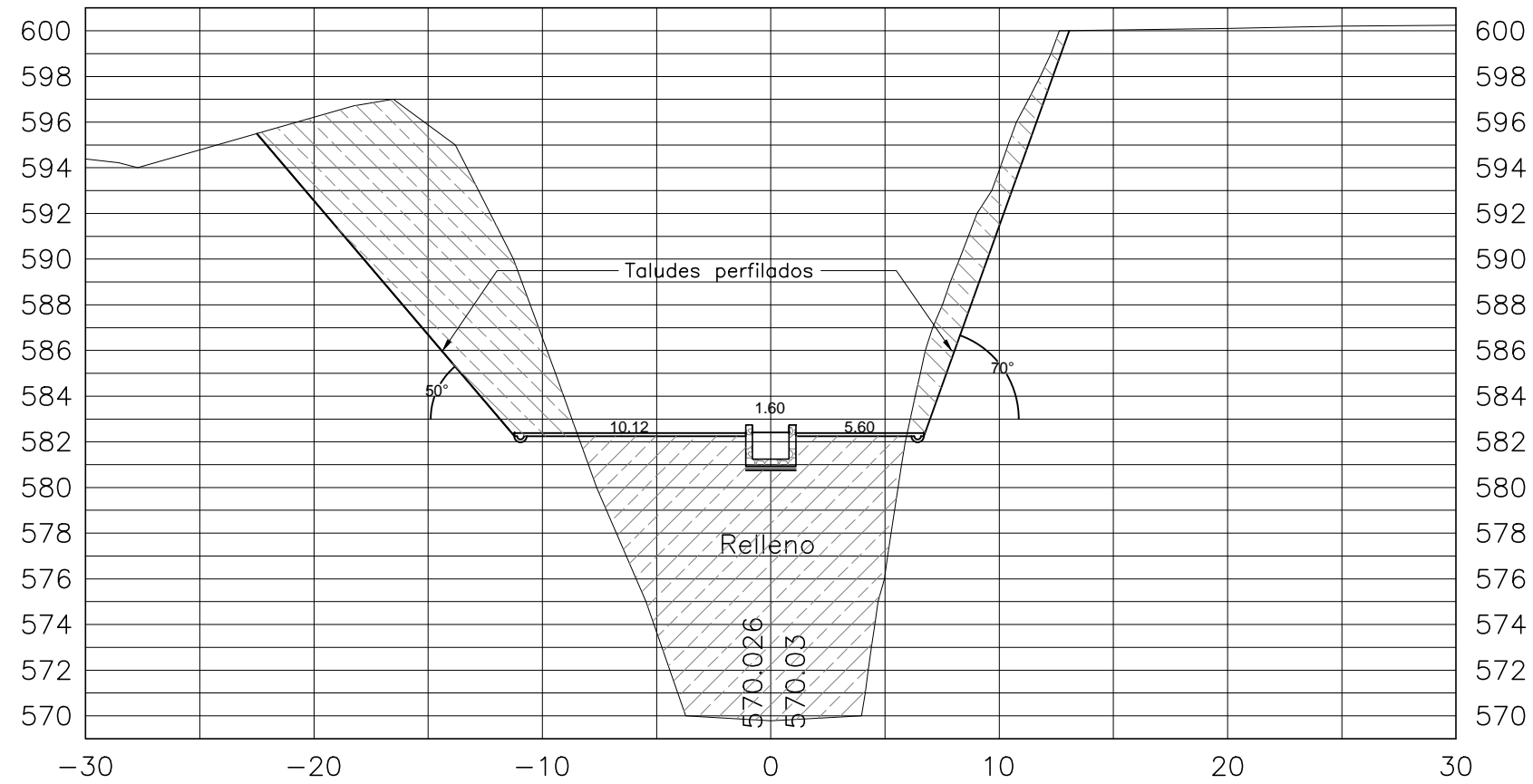
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1

PLANO N° 5.1.2

ESCALA 1:350



0+035
SECCIÓN A



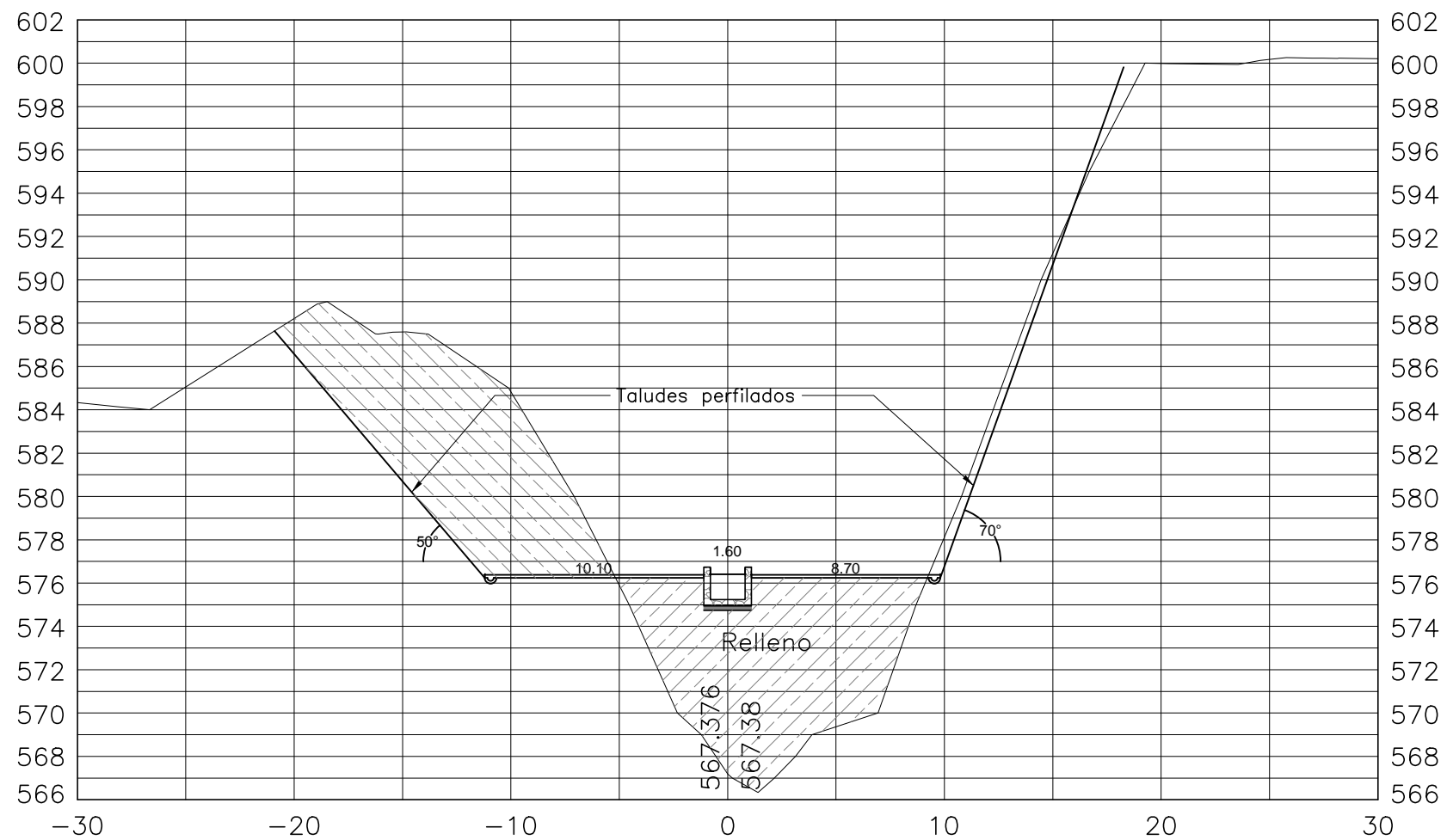
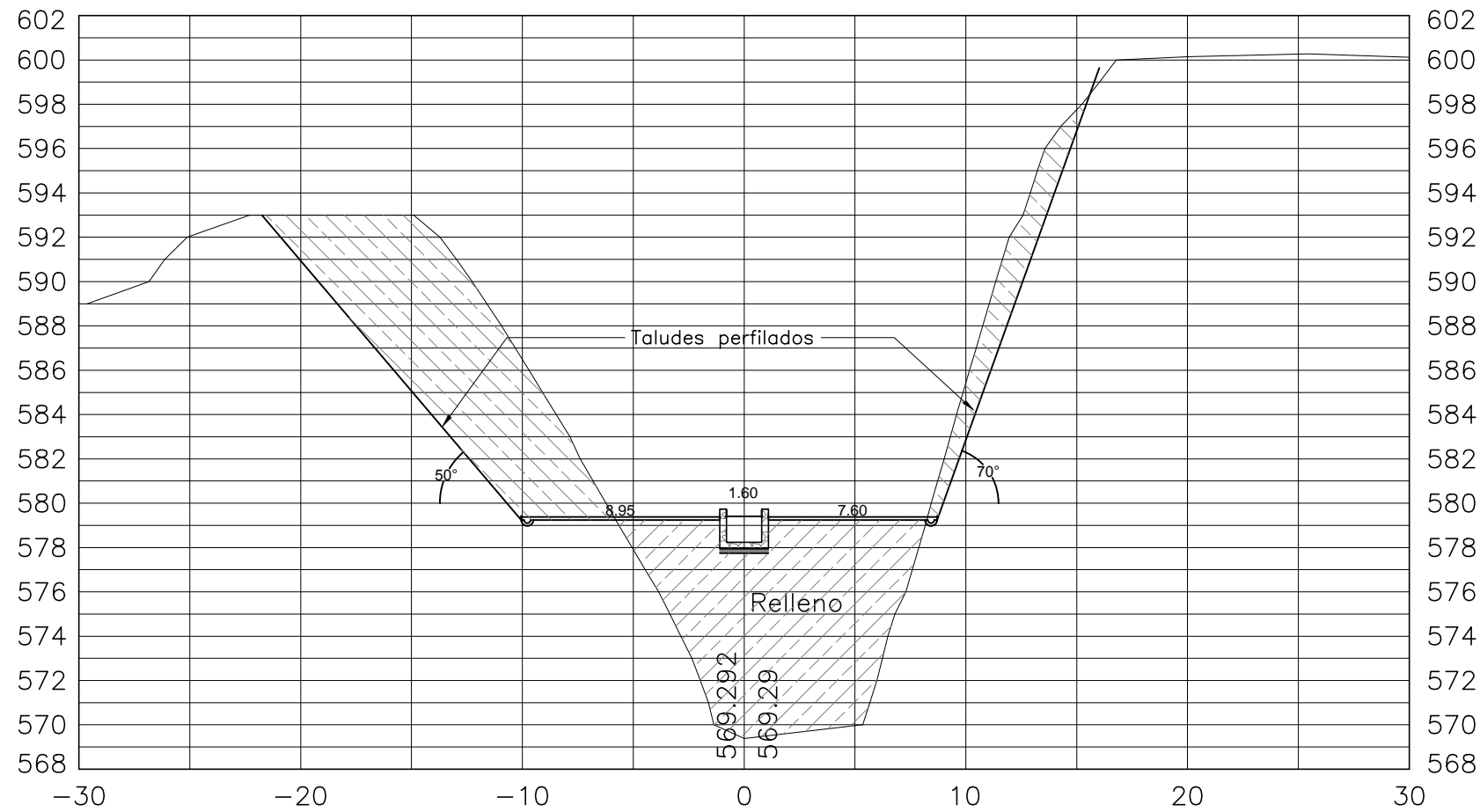
0+040
SECCIÓN B

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1

PLANO N° 5.1.3

ESCALA 1:300

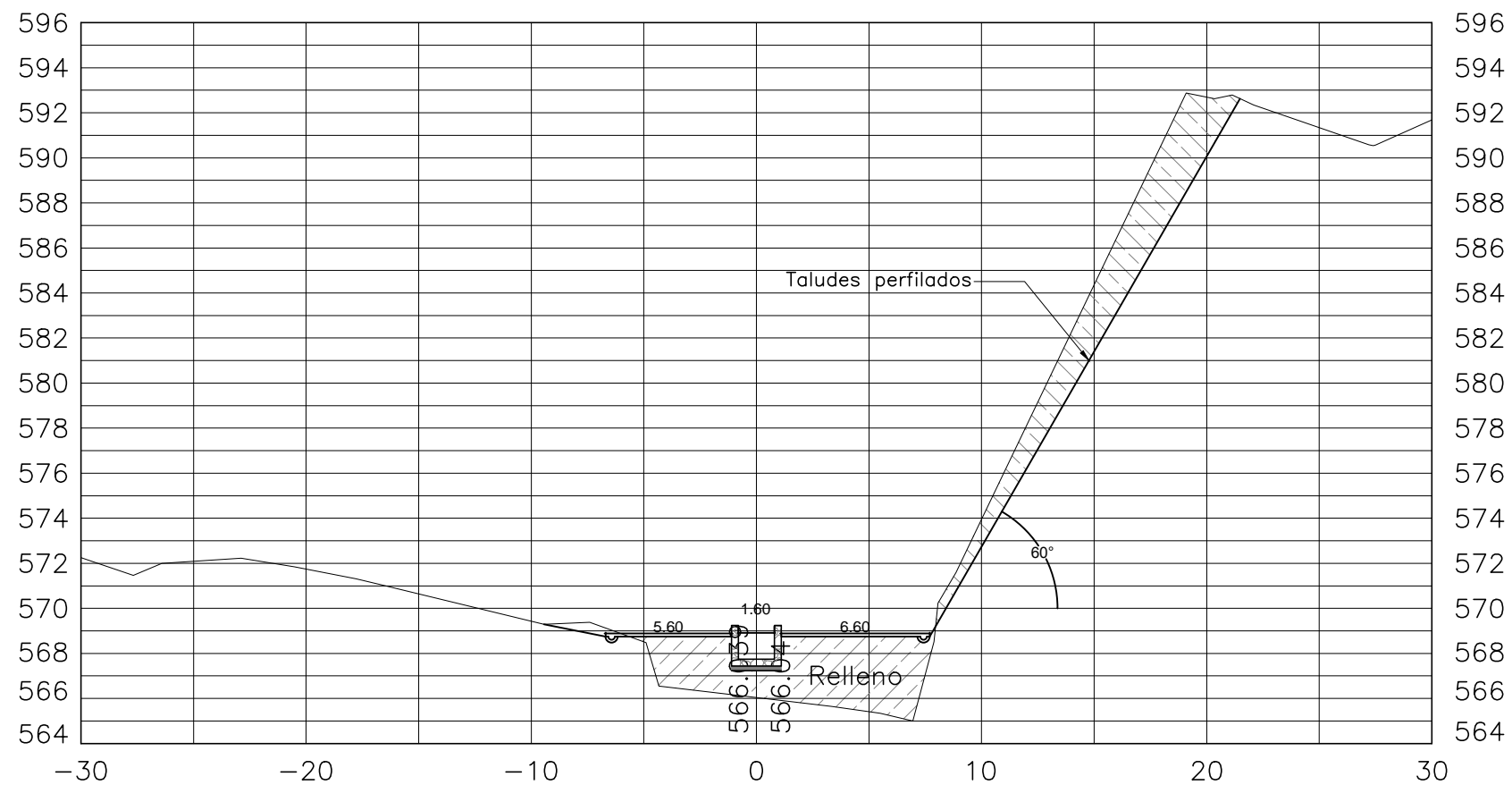
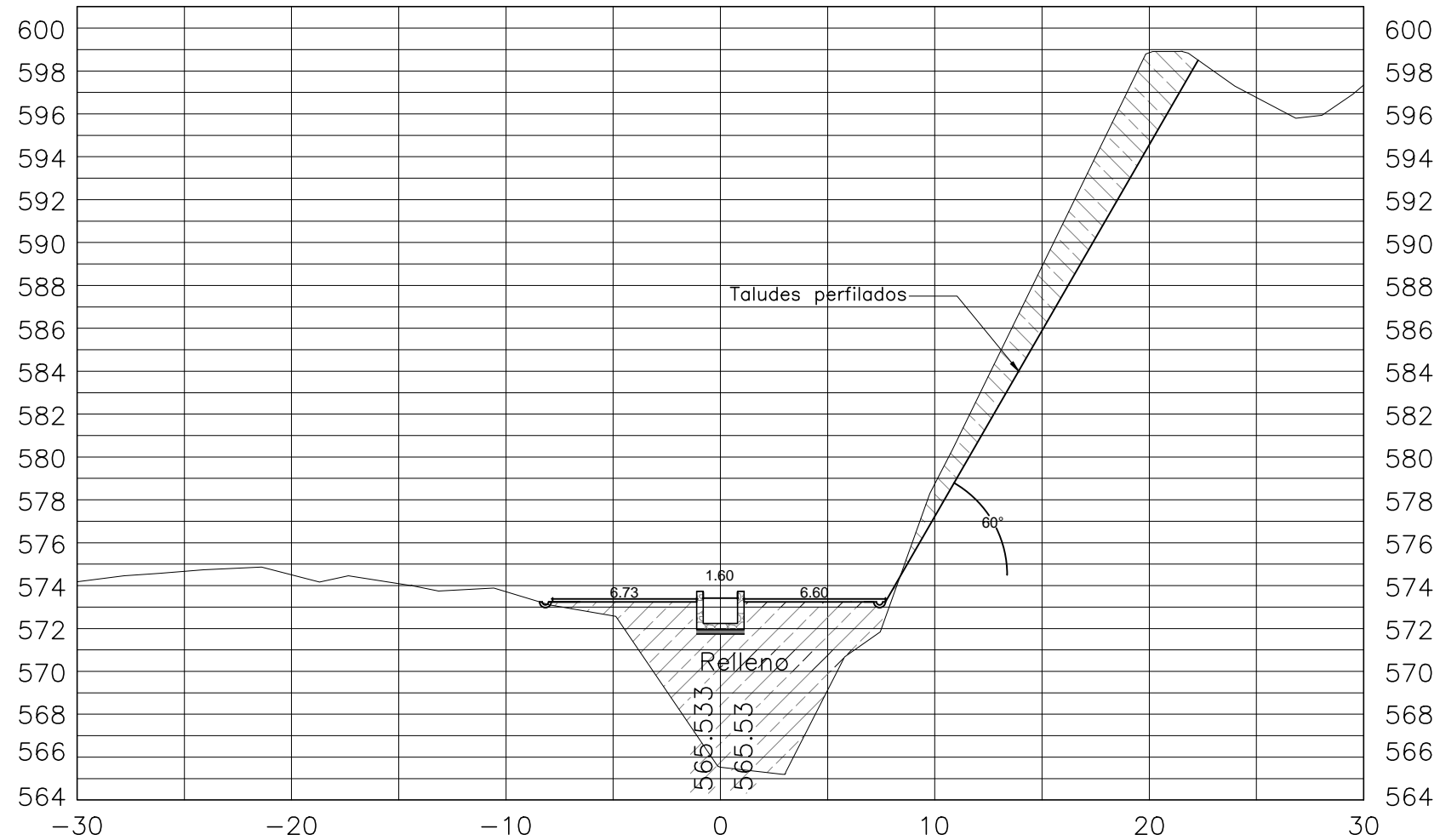


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

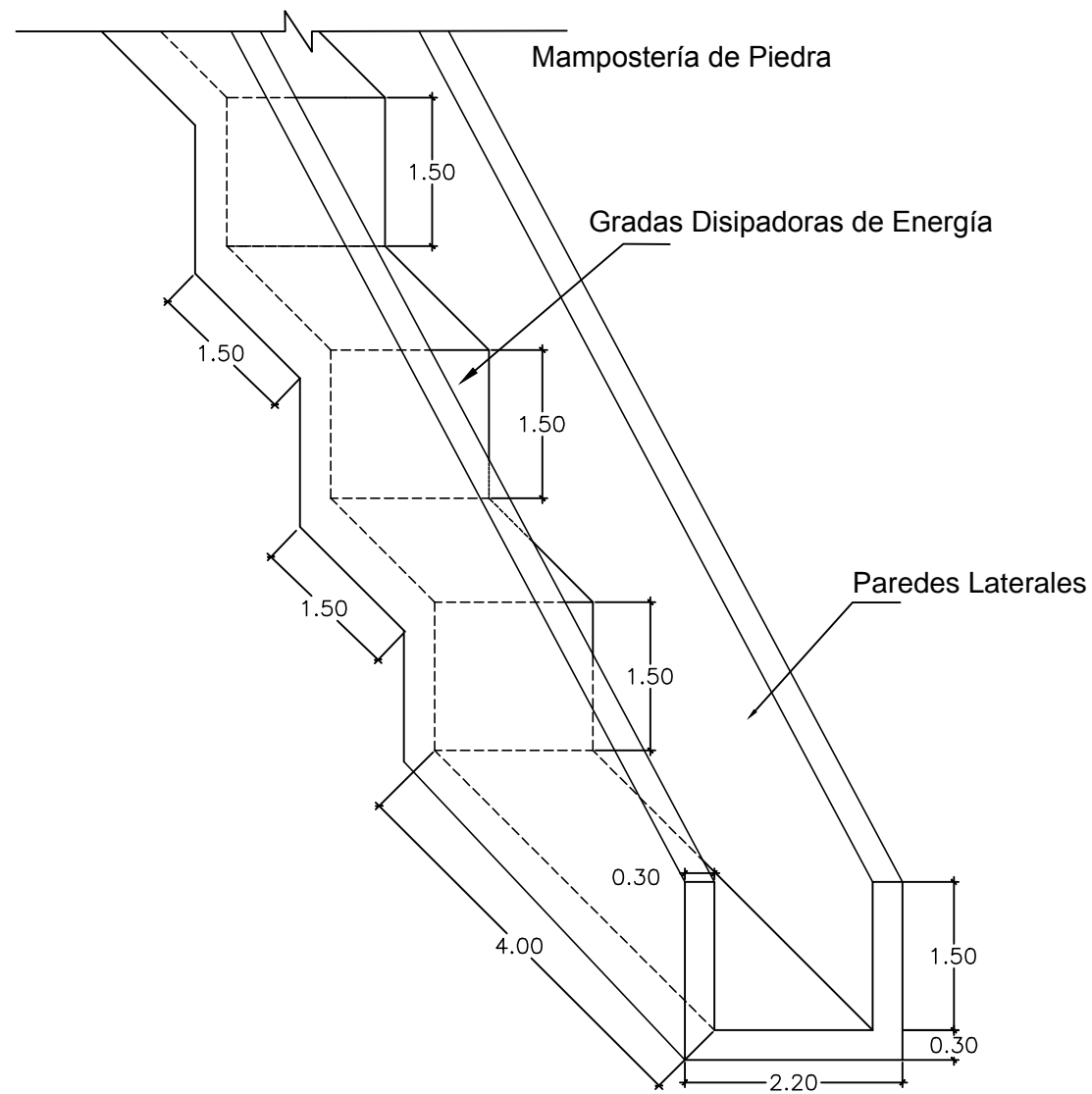
SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1

PLANO N° 5.1.4

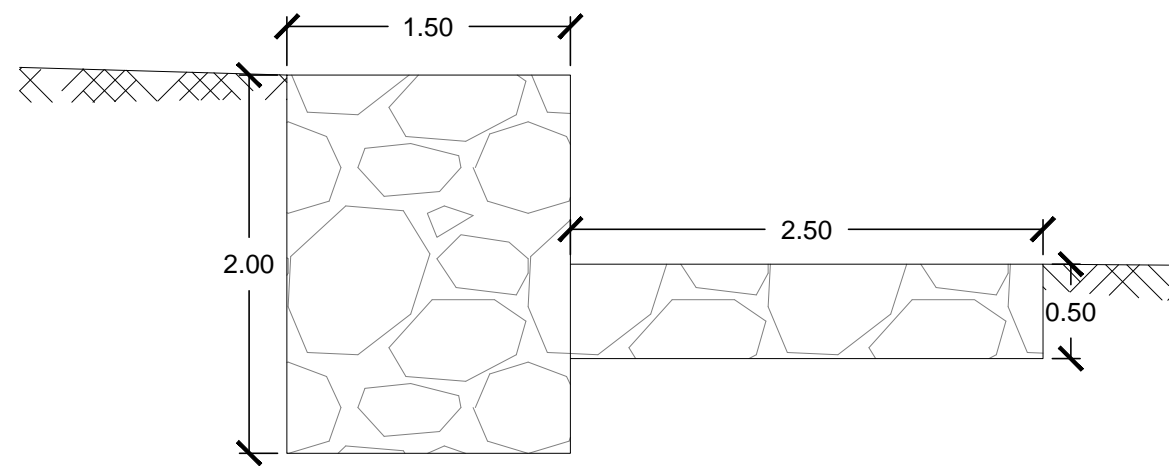
ESCALA 1:300



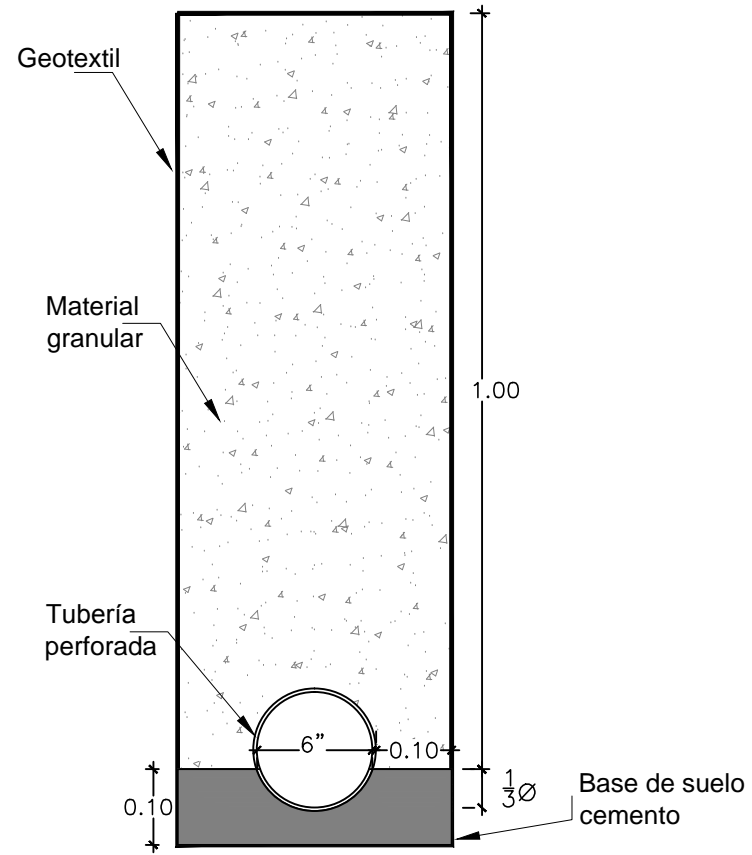
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR
 SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1
 PLANO N° 5.1.5 ESCALA 1:300



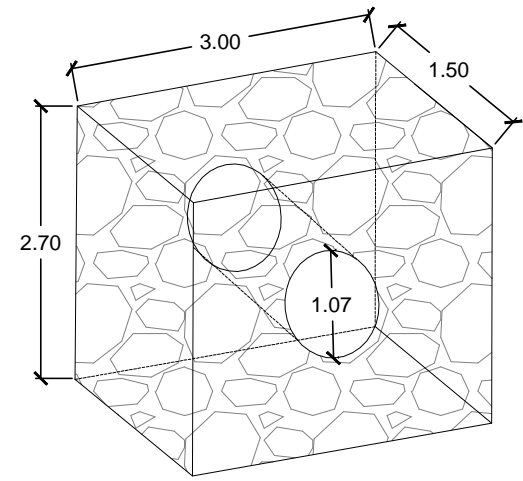
Gradas disipadoras (Derramadero)
ESCALA 1:75



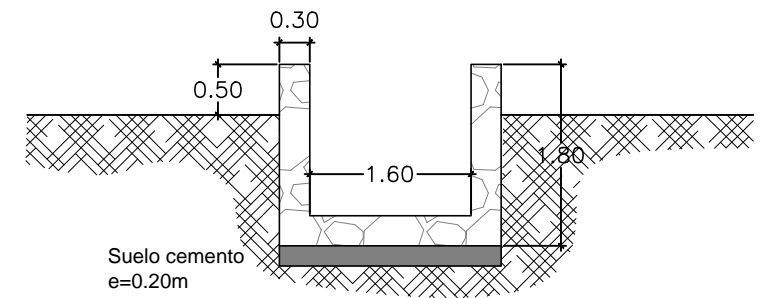
Detalle de muro guardanivel
ESCALA 1:40



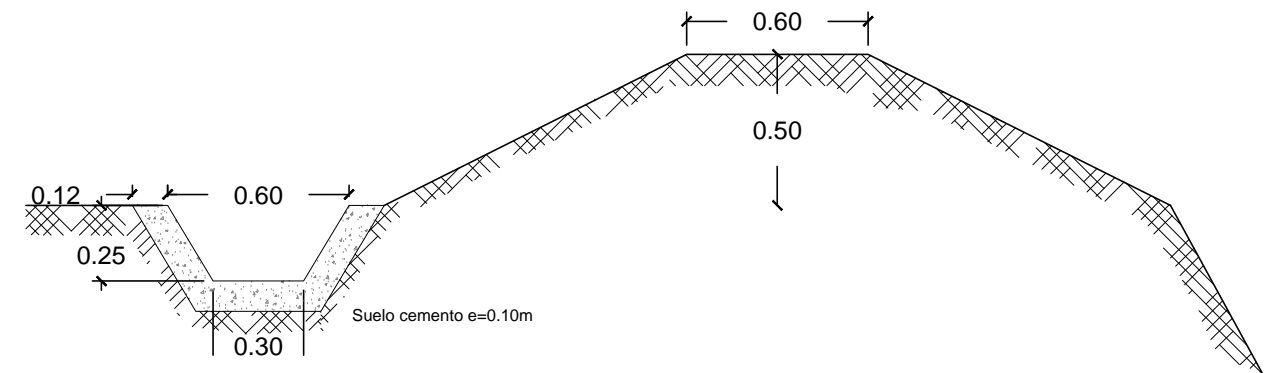
Detalle dren francés
ESCALA 1:10



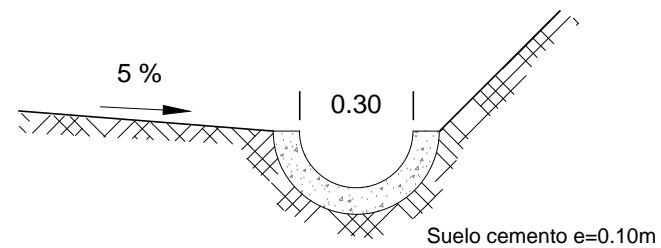
Cabezal de descarga
ESCALA 1:75



Sección derramadero
ESCALA 1:75

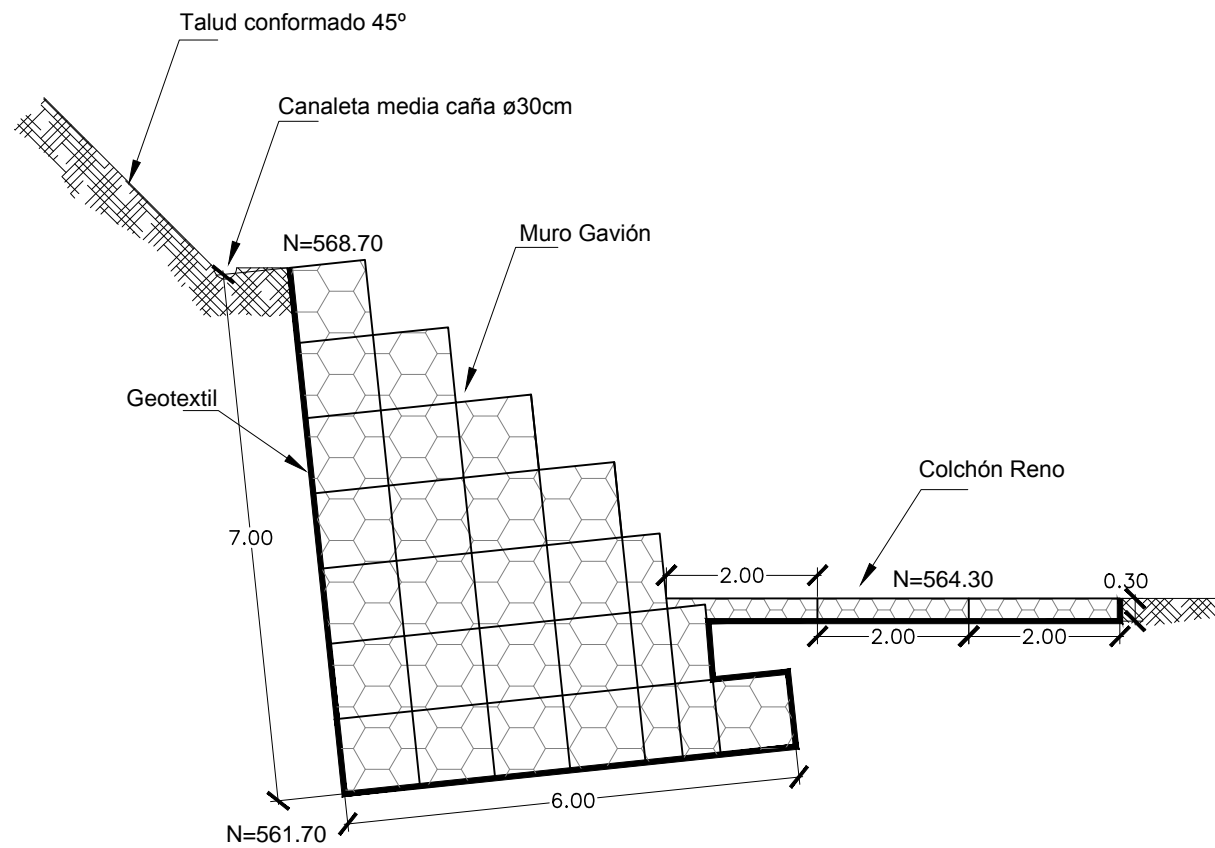


Detalle de Canaleta Trapezoidal y Dique de suelo compactado
ESCALA 1:25

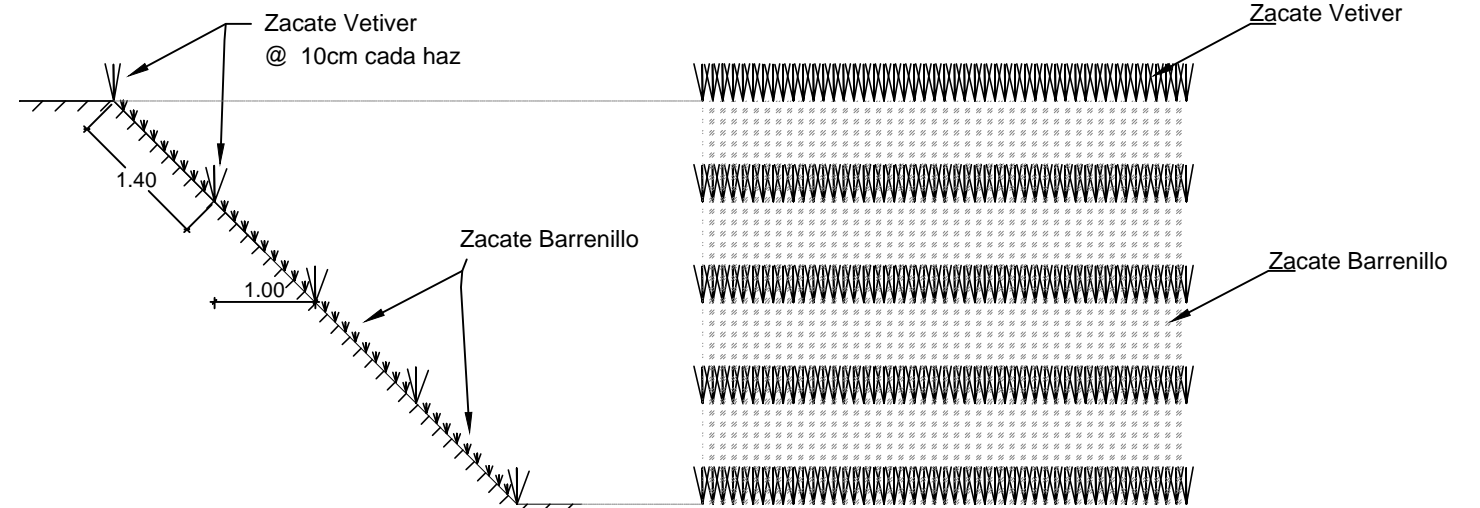


Detalle de Canaleta media caña
ESCALA 1:20

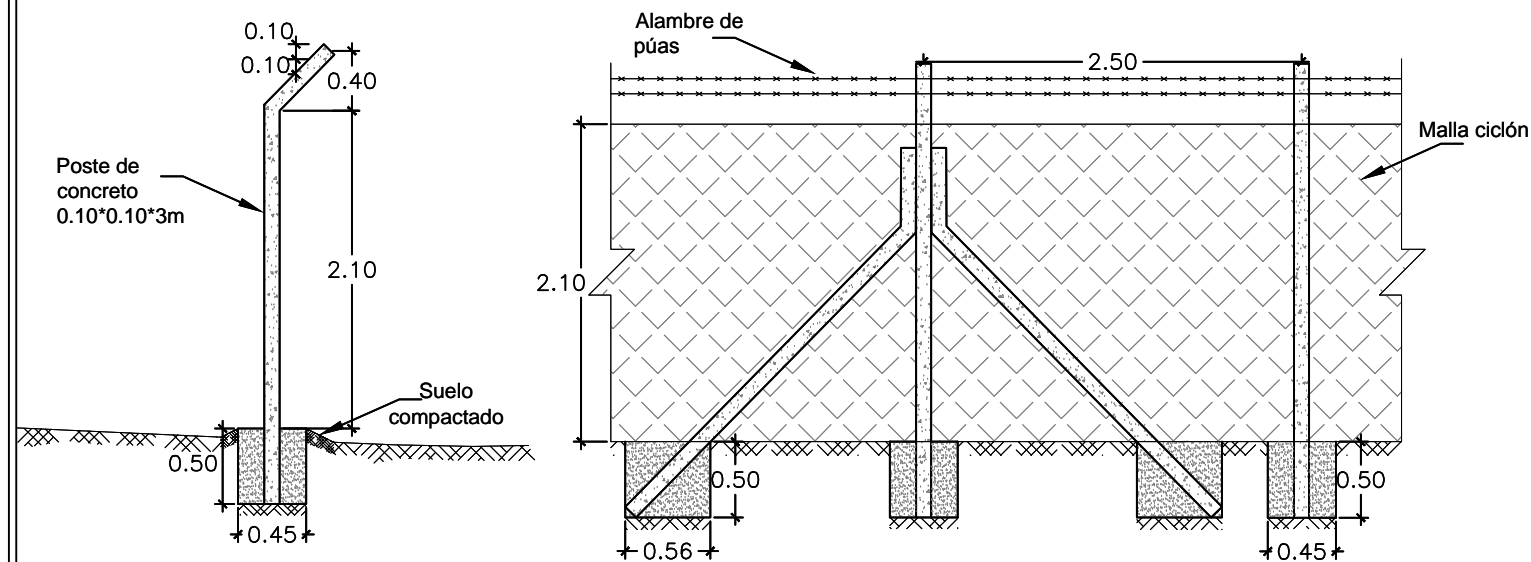
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCACIÓN DE GRAN TAMAÑO LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR	
DETALLES DE LAS OBRAS HIDRAULICAS ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°1	
PLANO N° 5.1.6	ESCALAS INDICADAS



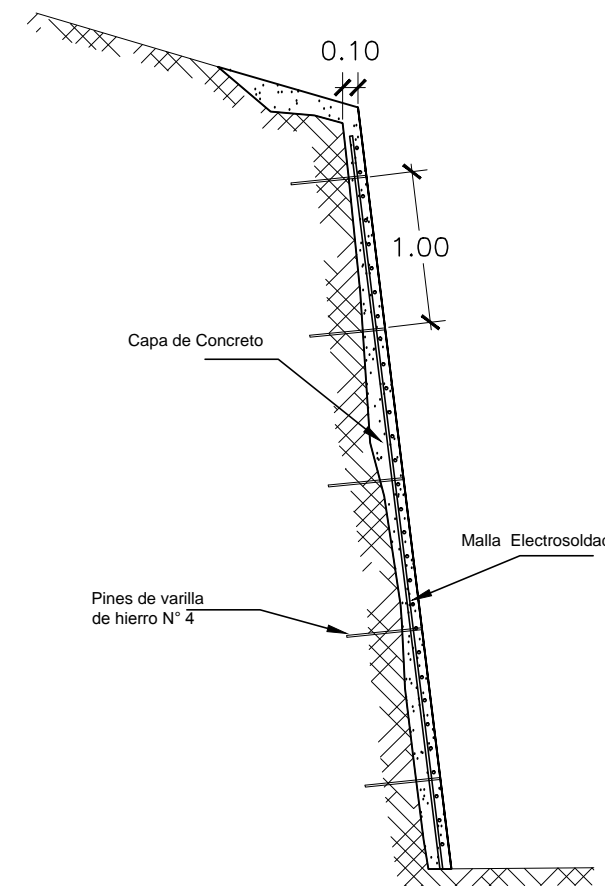
Detalle de Muro Gavión
ESCALA 1:100



Detalle de vegetación en taludes
ESCALA 1:50

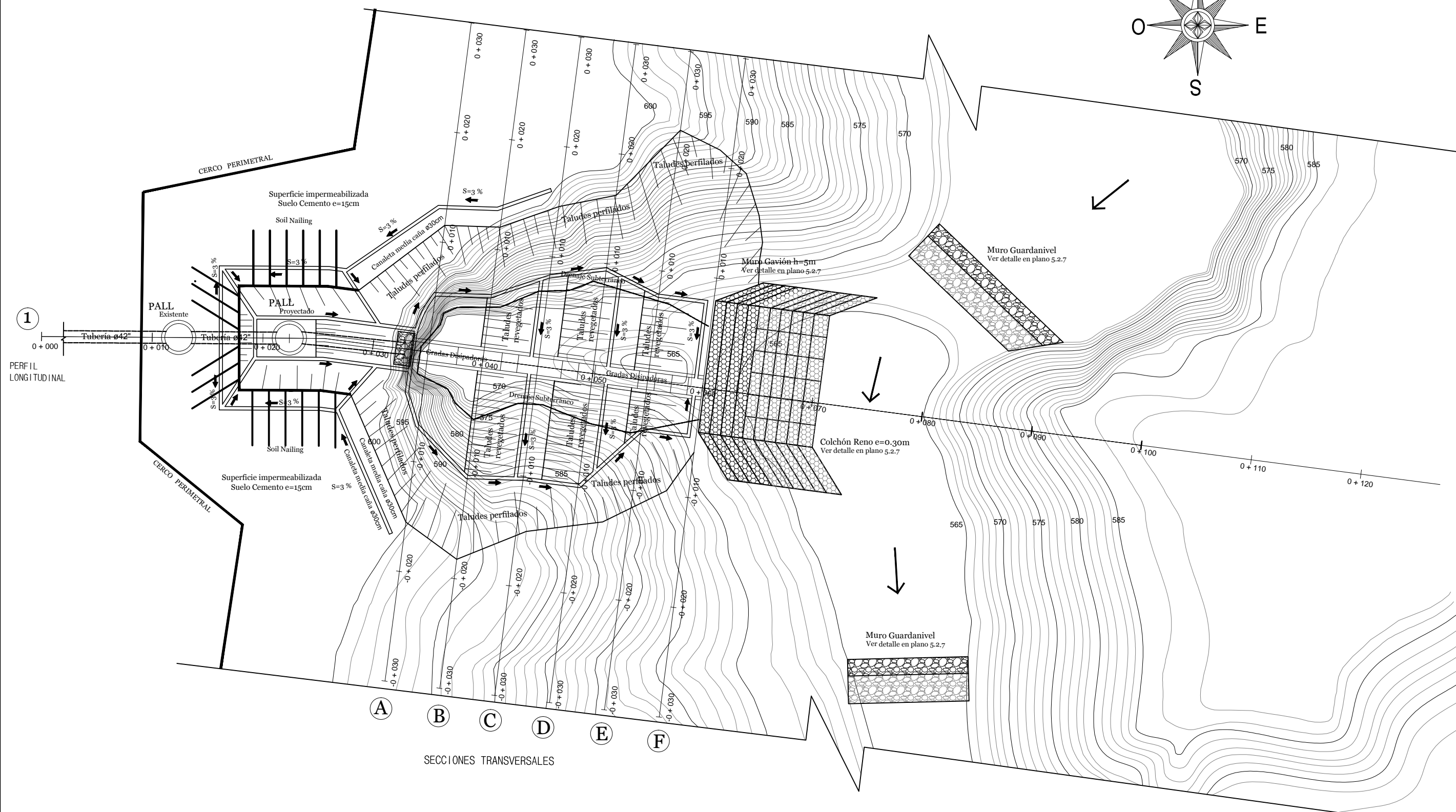
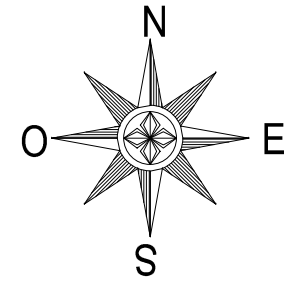


Detalle de cerco perimetral
ESCALA 1:50



Detalle de Shotcrete
ESCALA 1:50

***ANEXO N°9:
PLANOS DE ALTERNATIVA DE
SOLUCIÓN N°2***

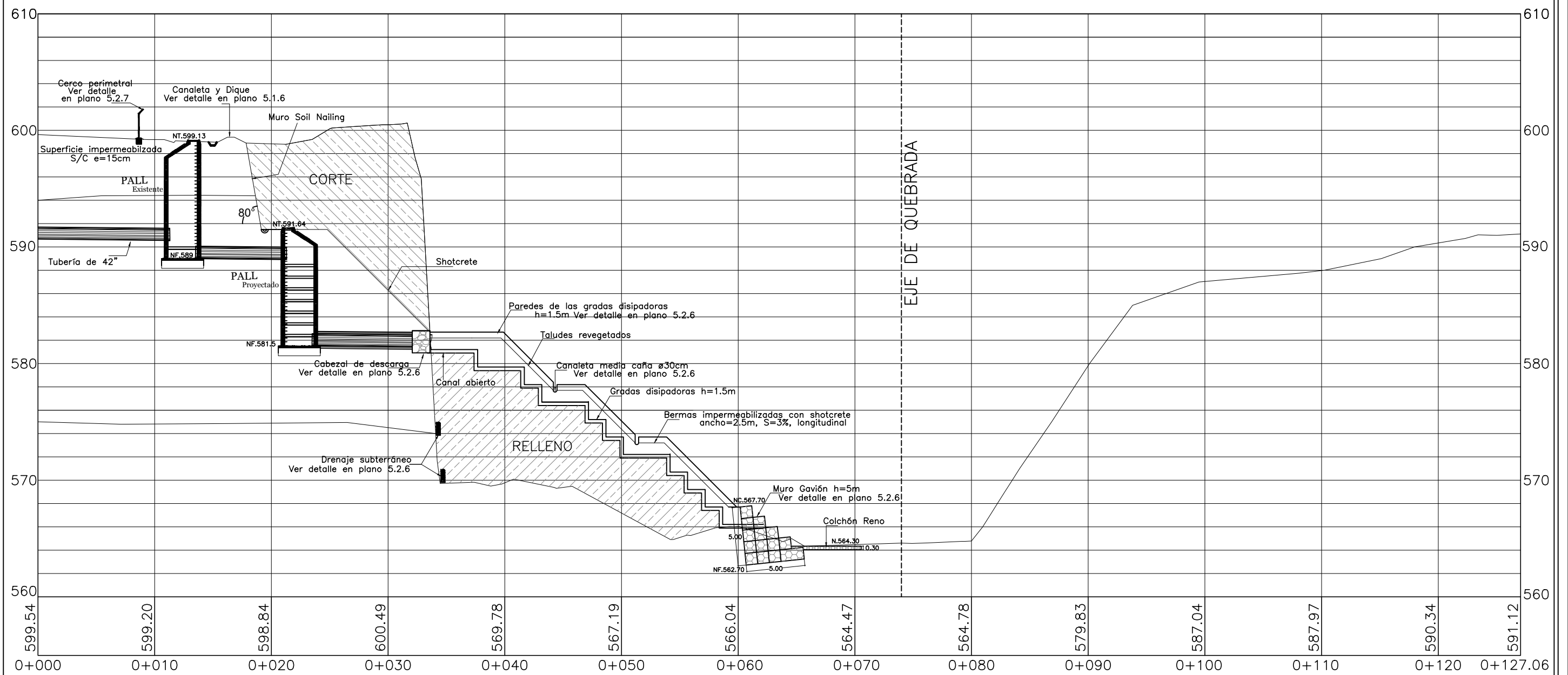


1
PERFIL LONGITUDINAL

SECCIONES TRANSVERSALES

PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR	
PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N° 2	
PLANO N° 5.2.1	ESCALA 1:350



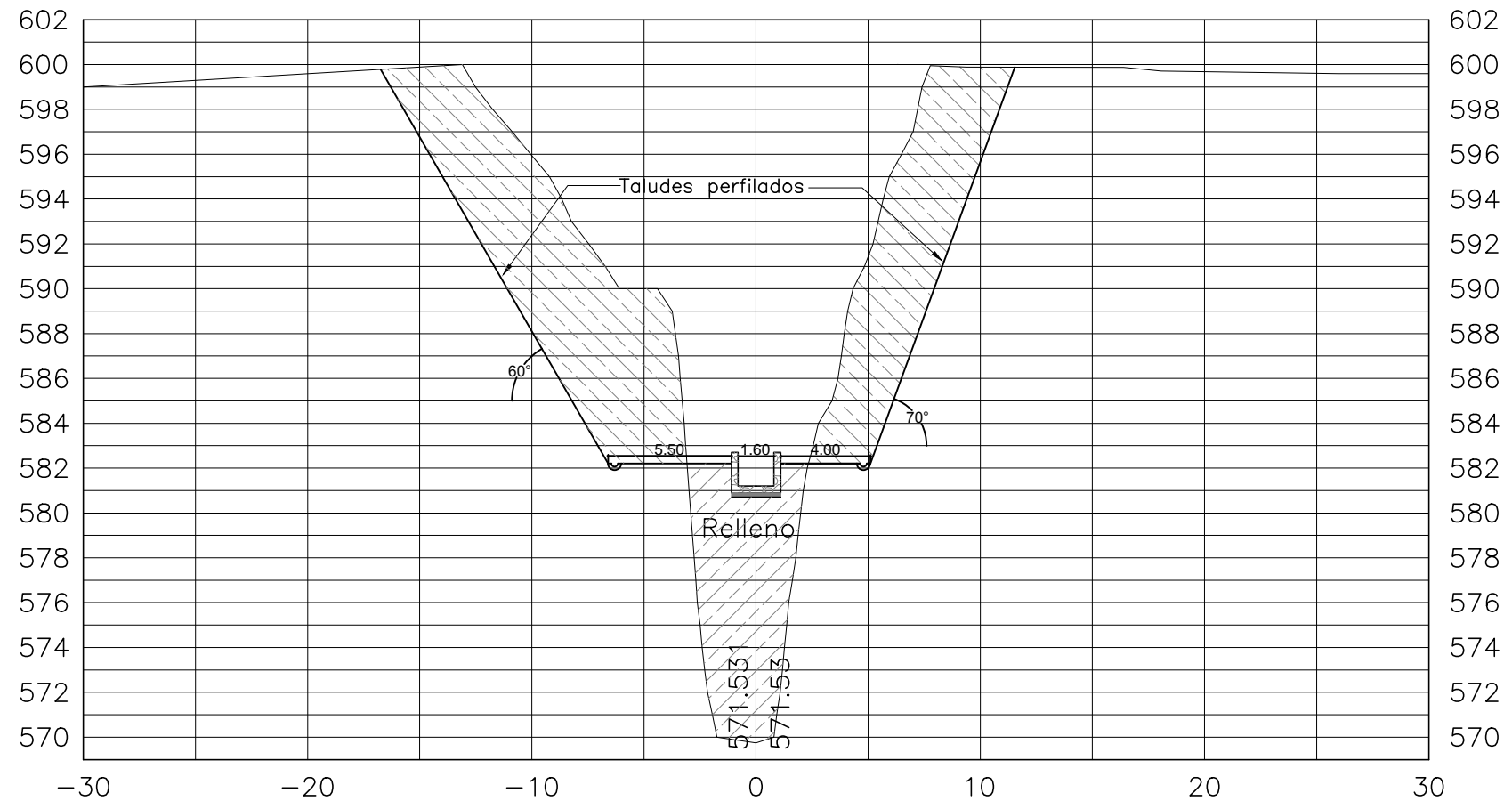
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCACCIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

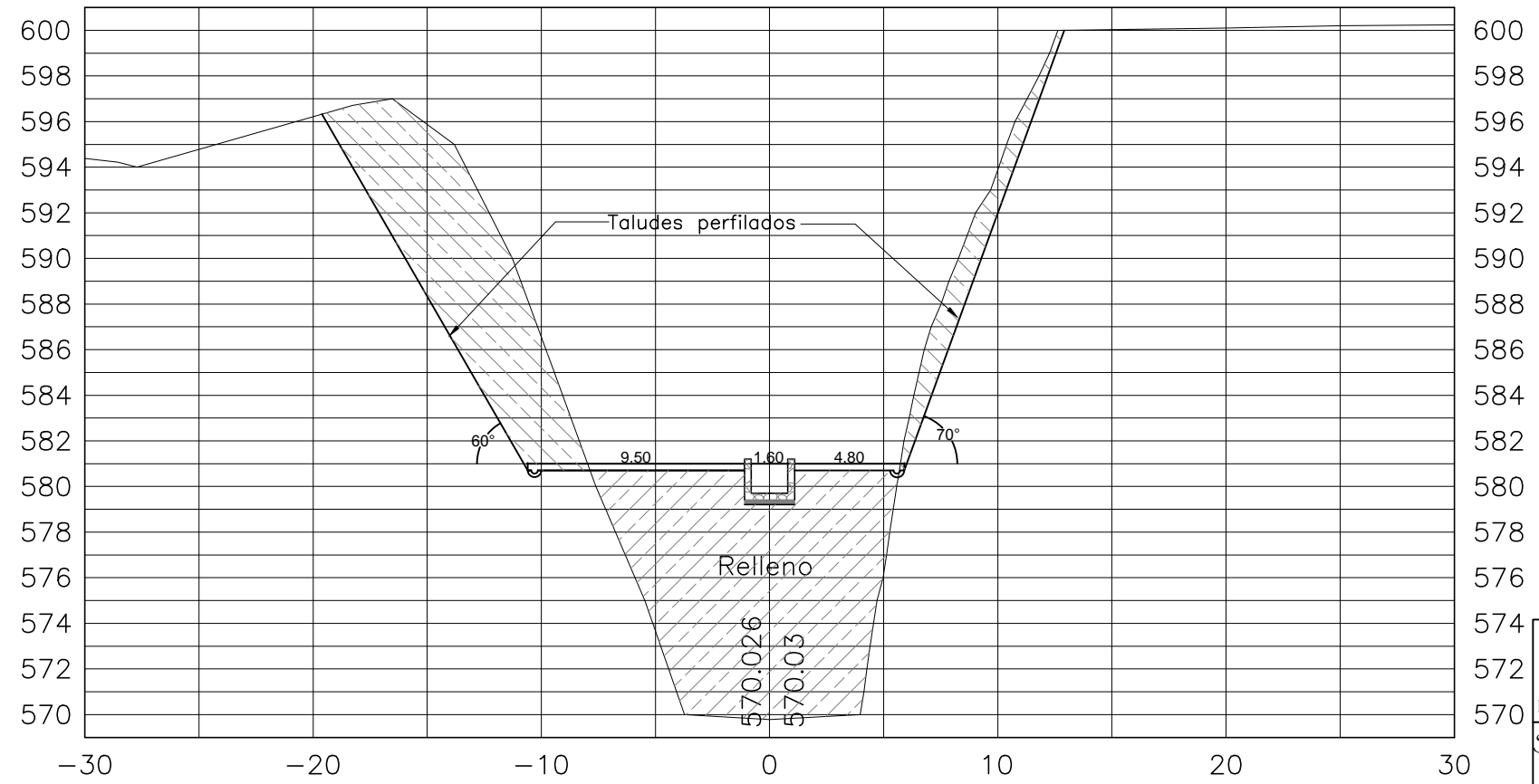
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2

PLANO N° 5.2.2

ESCALA 1:350



0+035
SECCIÓN A



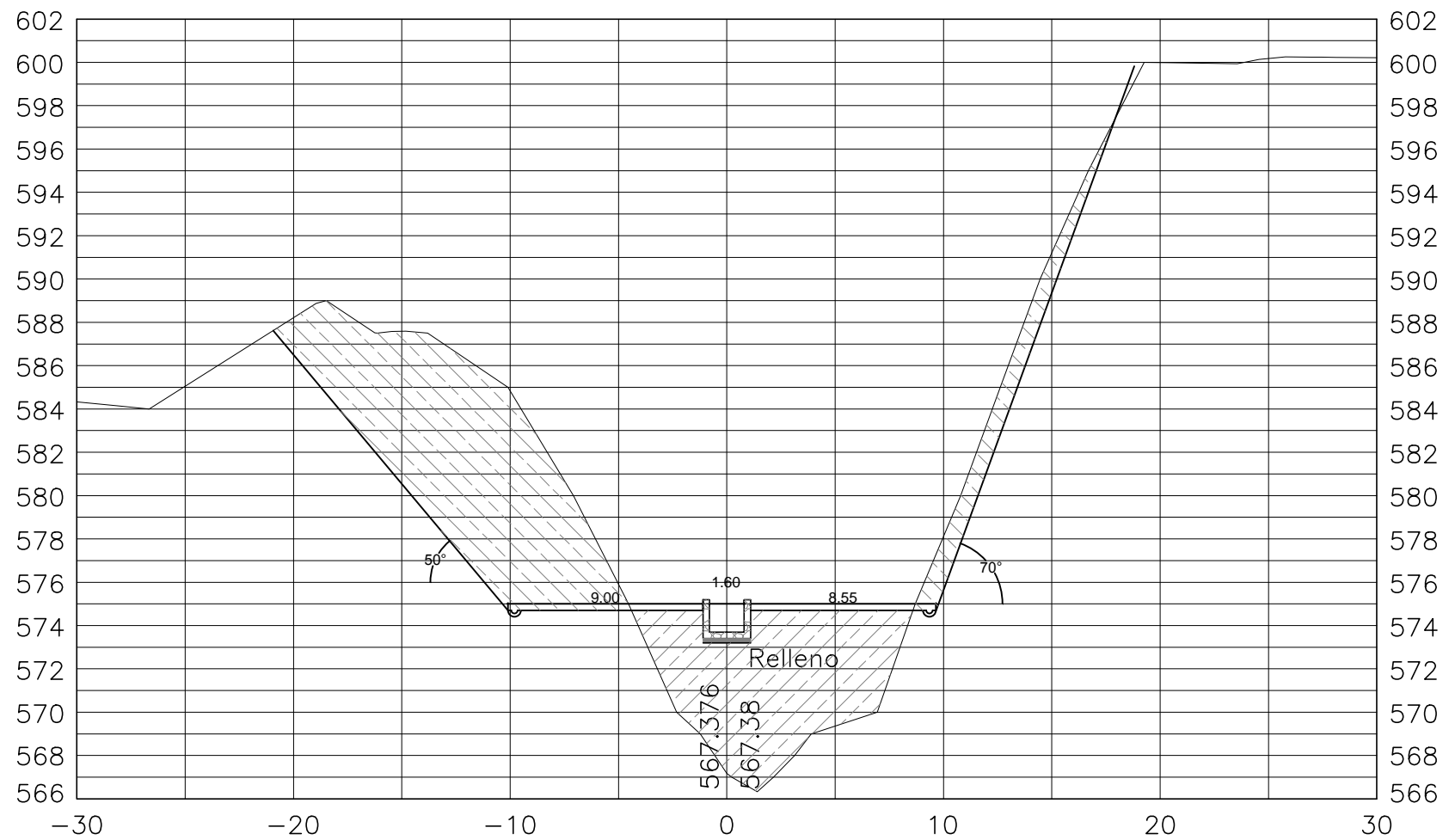
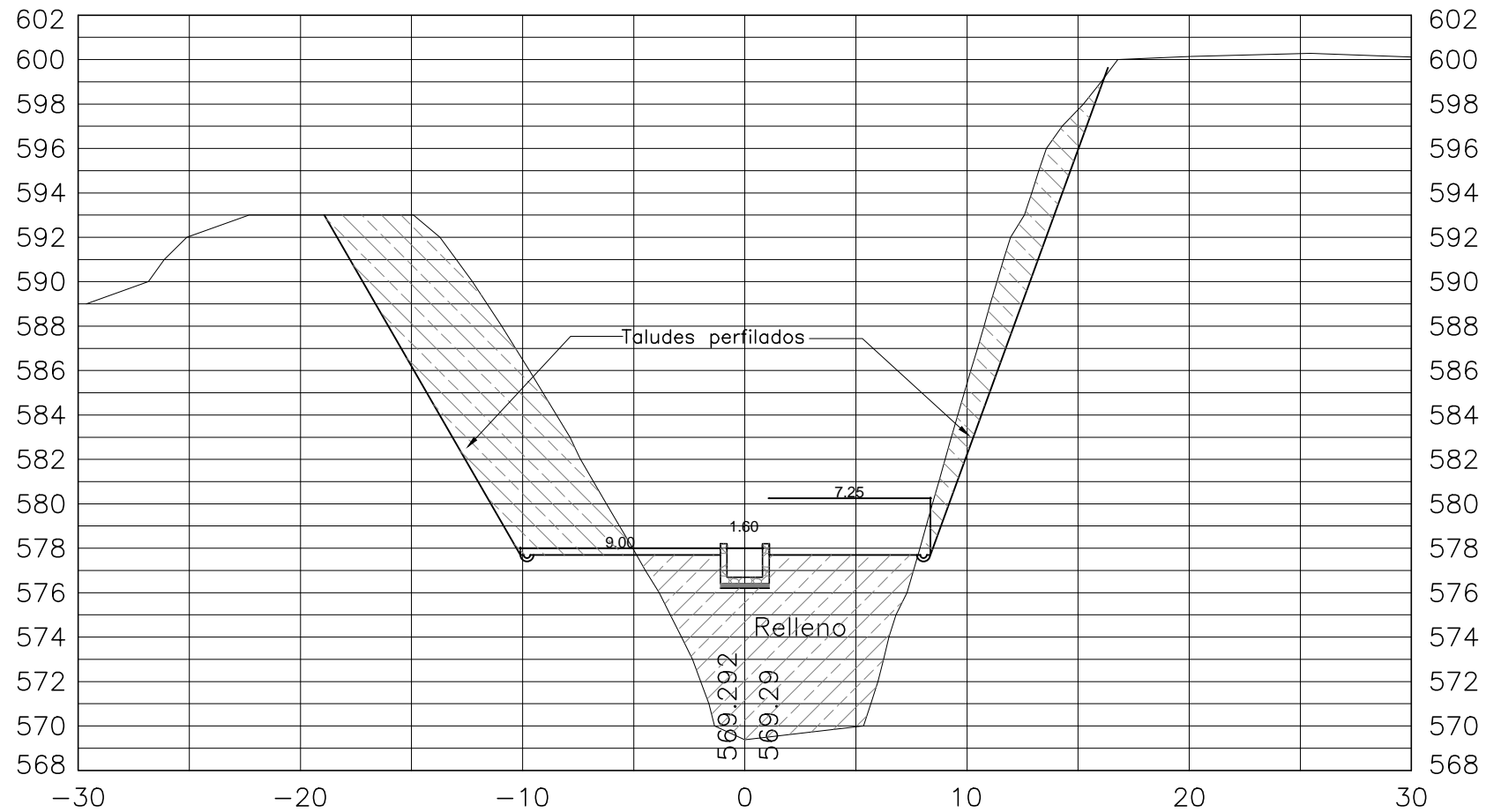
0+040
SECCIÓN B

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEFTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2

PLANO N° 5.2.3

ESCALA 1:300

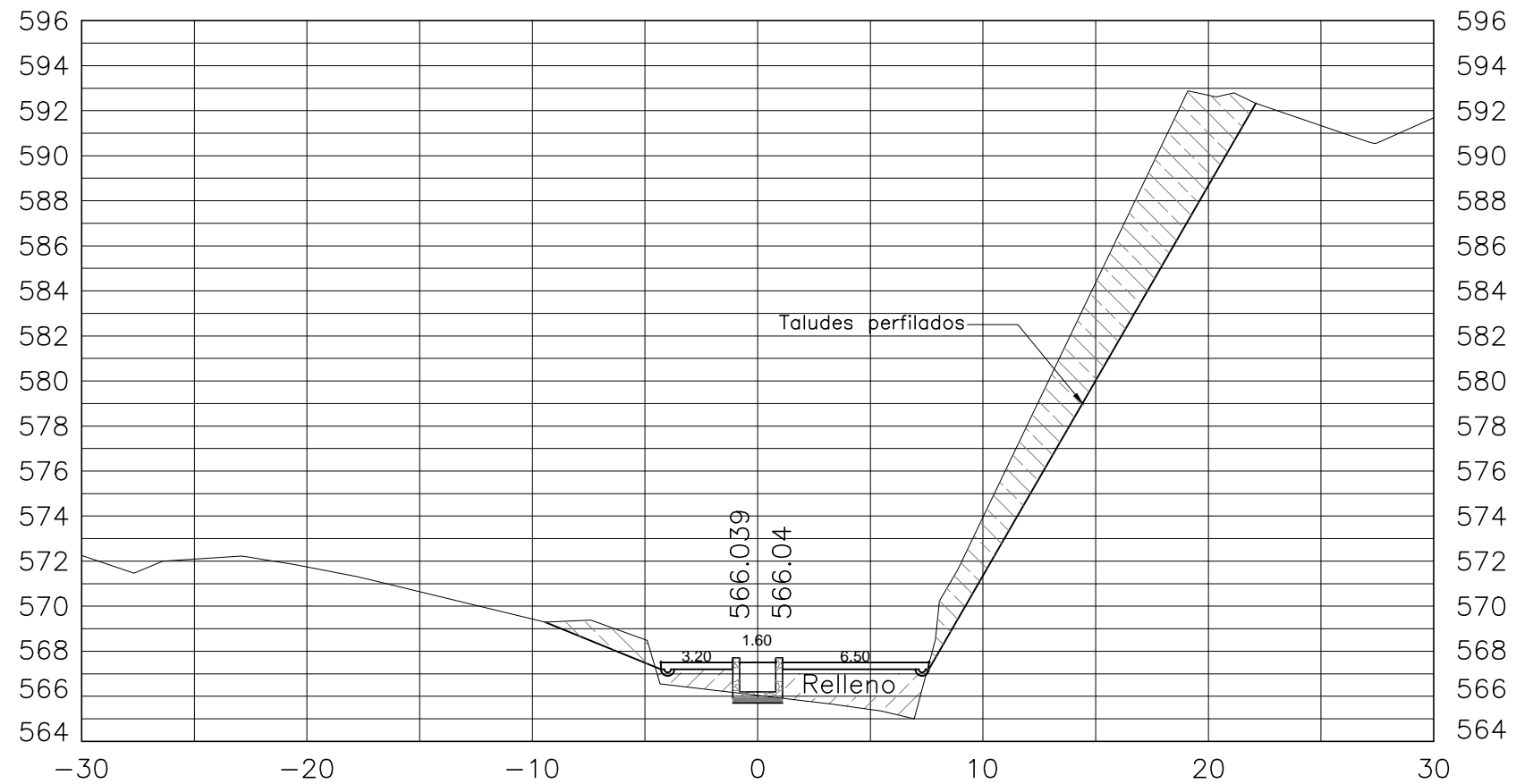
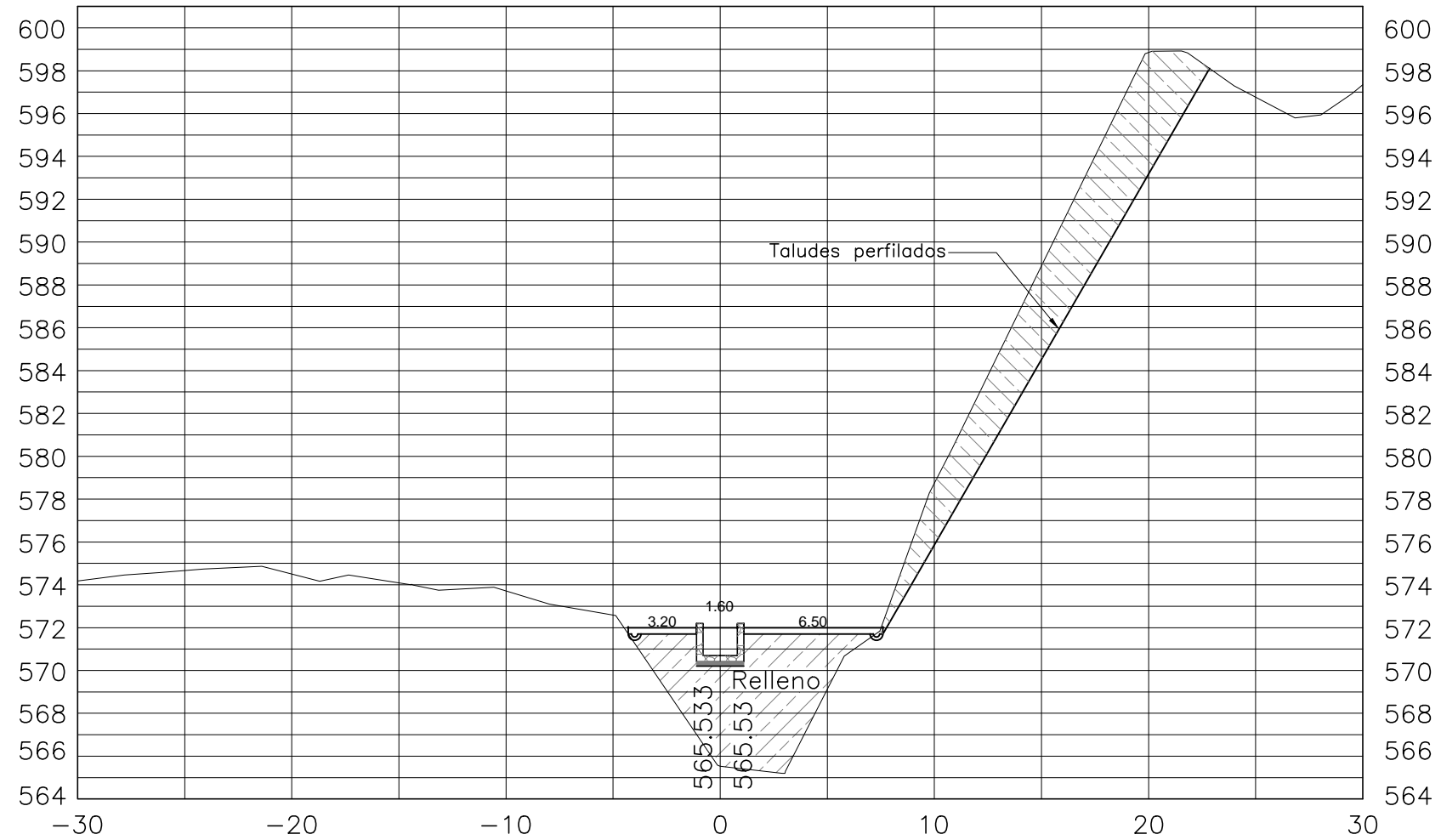


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEFTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2

PLANO N° 5.2.4

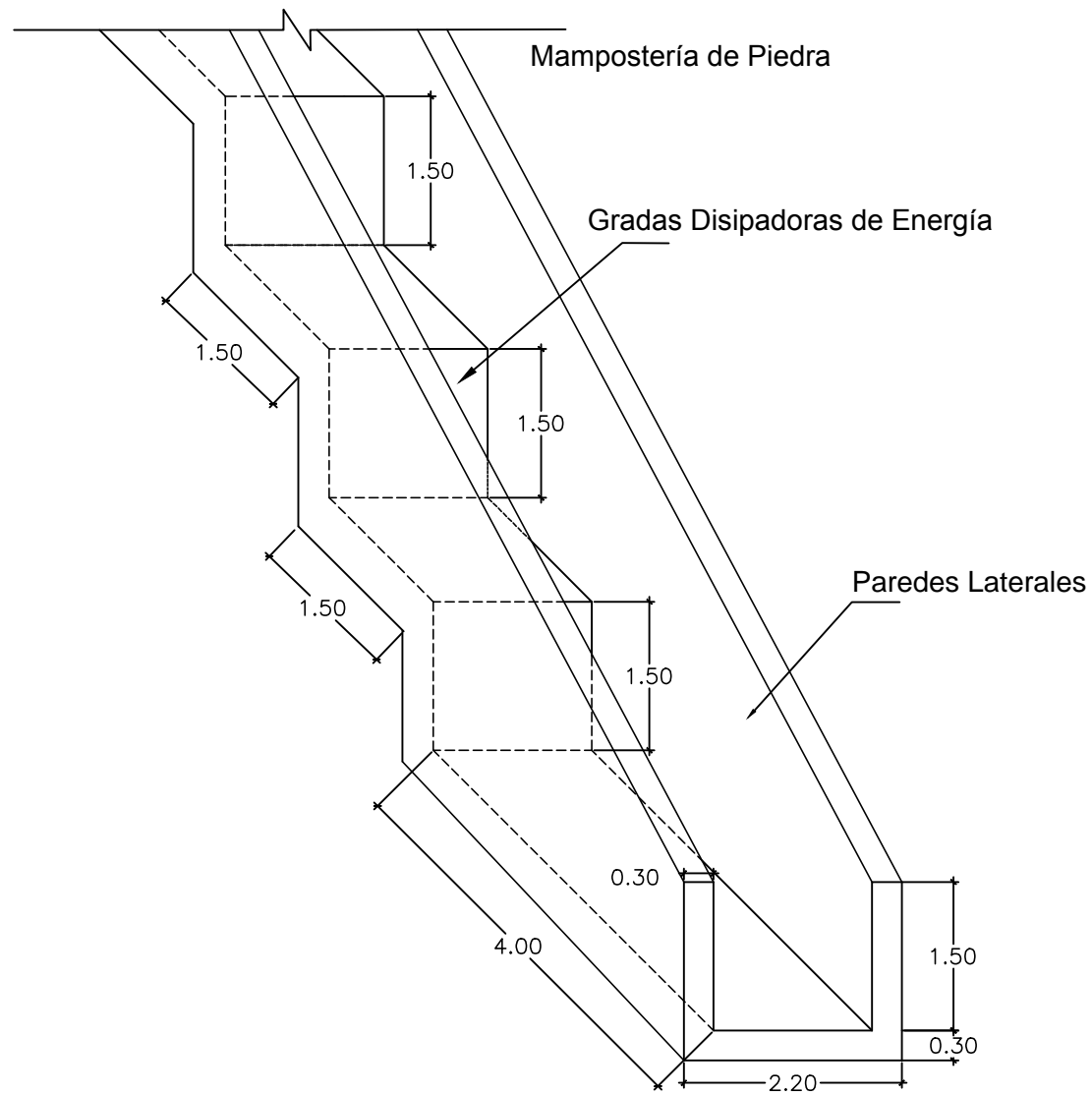
ESCALA 1:300



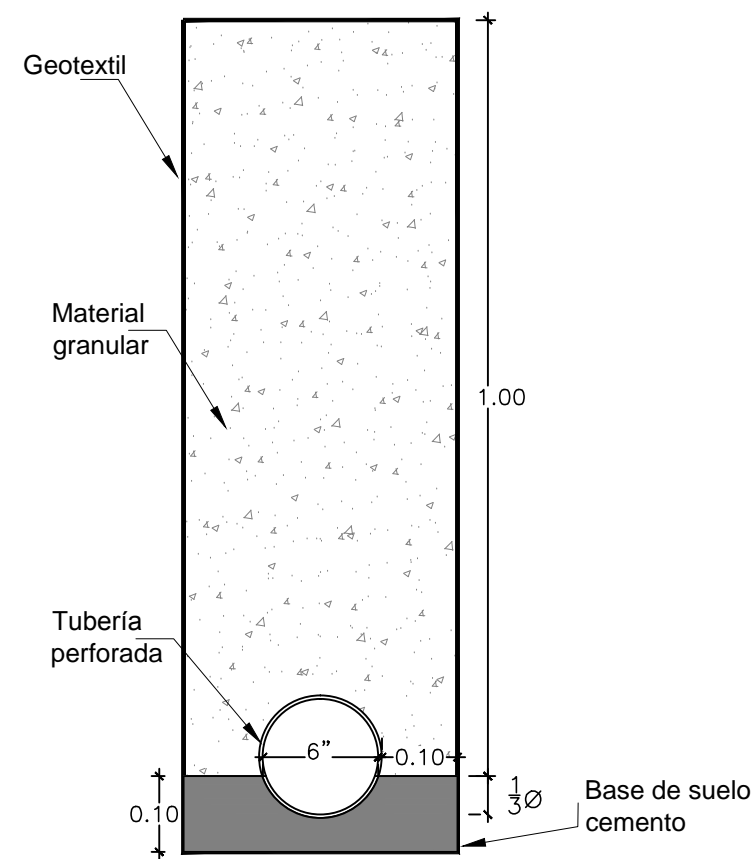
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCACCIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOFANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2

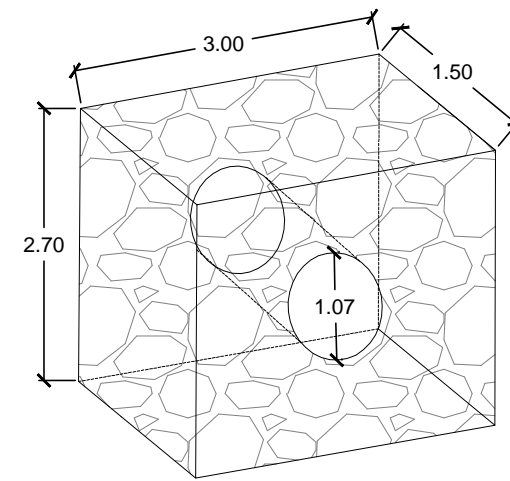
PLANO N° 5.2.5 ESCALA 1:300



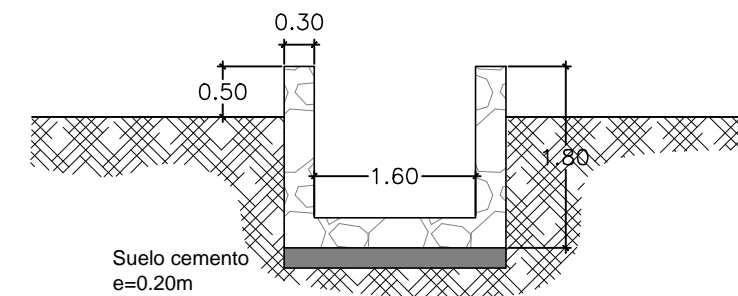
Gradas disipadoras (Derramadero)
ESCALA 1:75



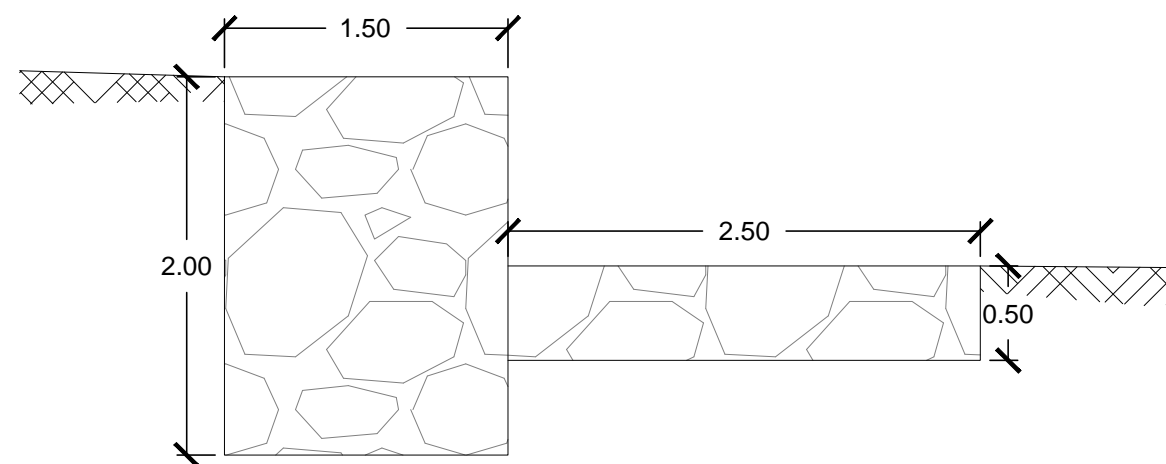
Detalle dren francés
ESCALA 1:10



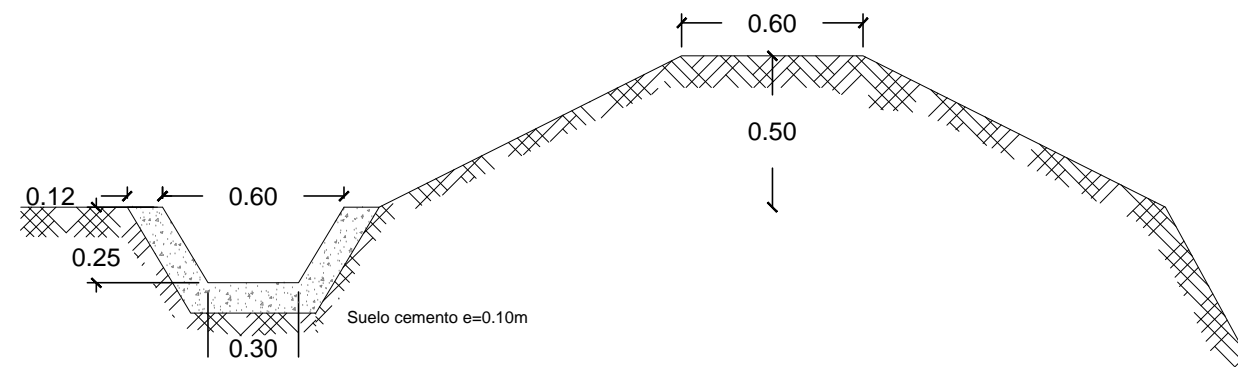
Cabezal de descarga
ESCALA 1:75



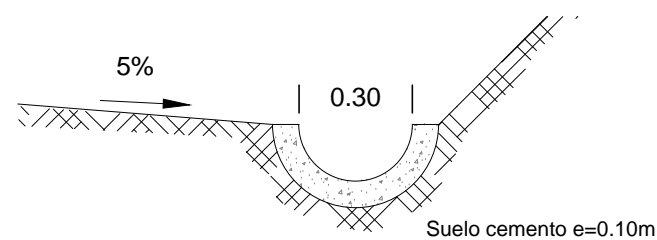
Sección derramadero
ESCALA 1:75



Detalle de muro guardanivel
ESCALA 1:40



Detalle de Canaleta Trapezoidal y Dique de suelo compactado
ESCALA 1:25

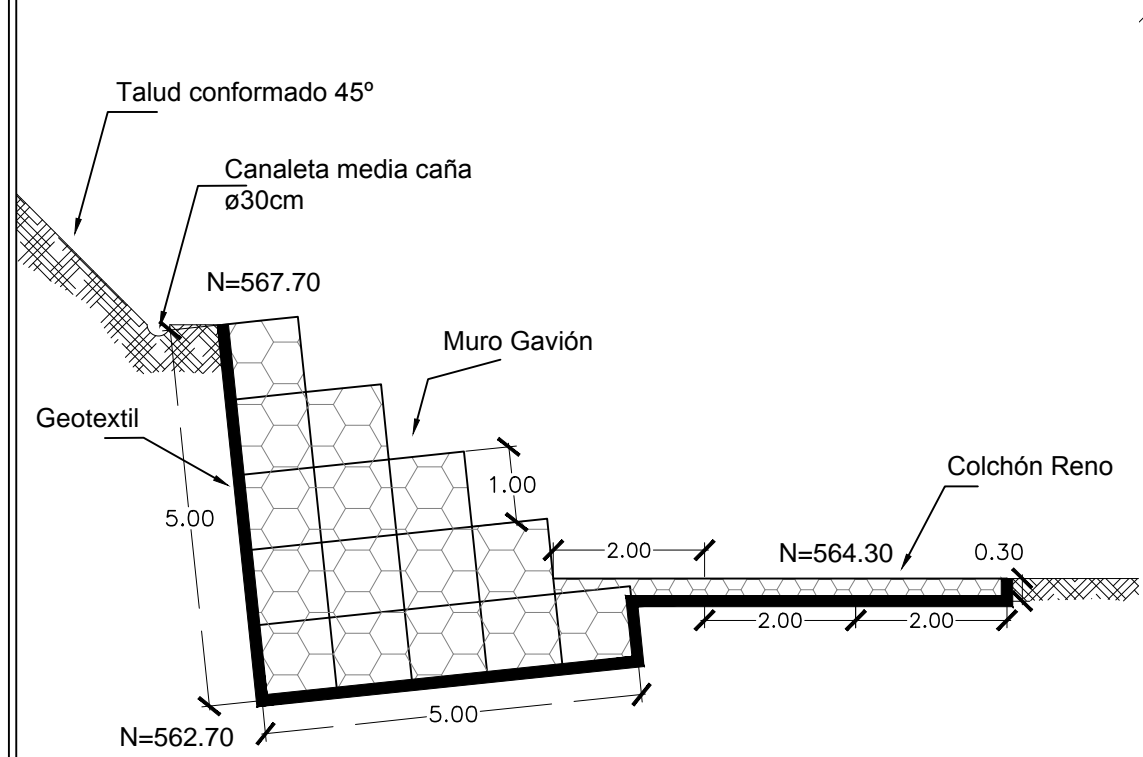


Detalle de Canaleta media caña
ESCALA 1:20

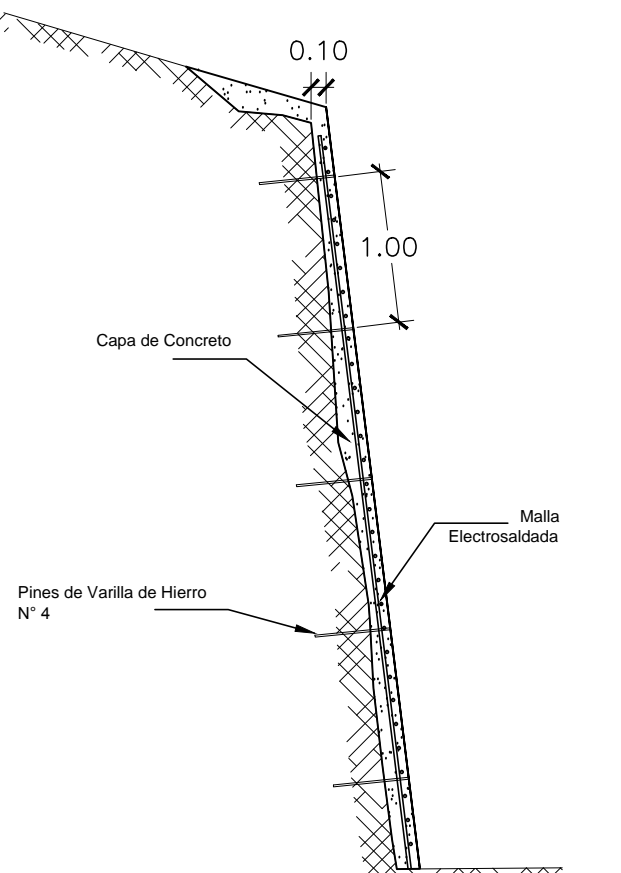
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

**DETALLES DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°2**

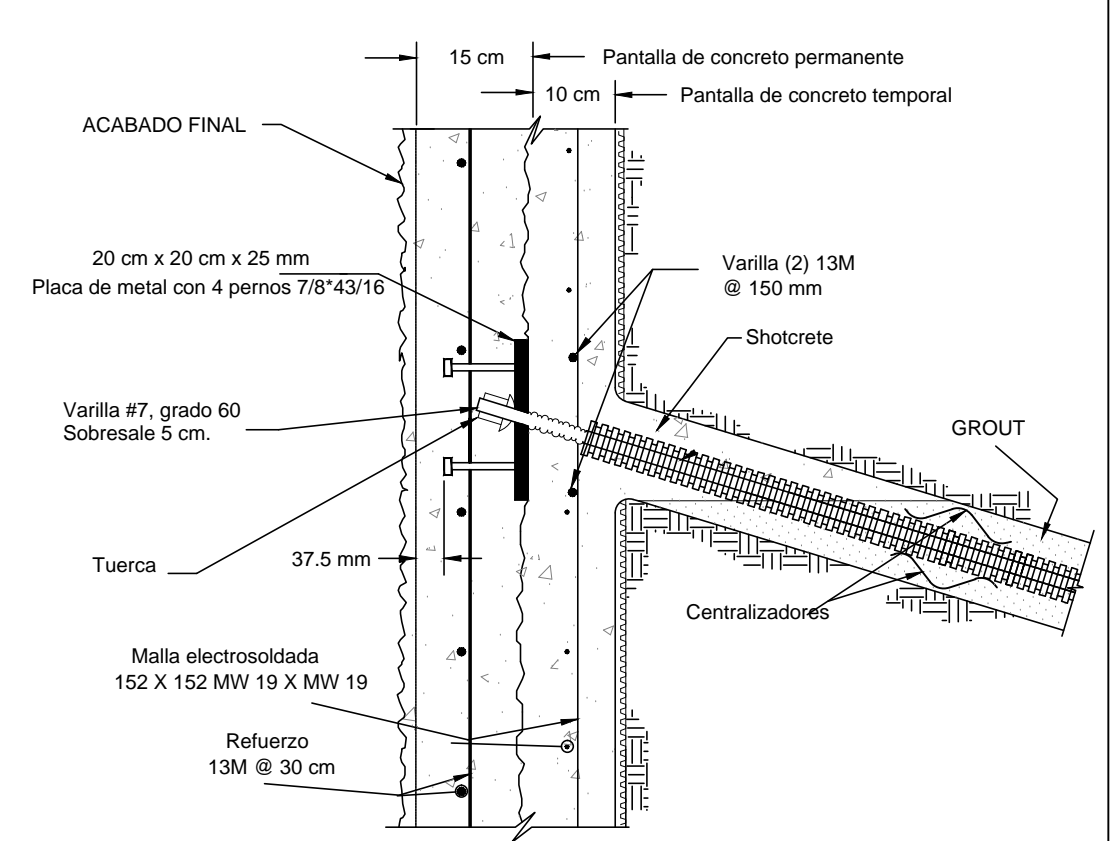
PLANO N° 5.2.6 ESCALA INDICADAS



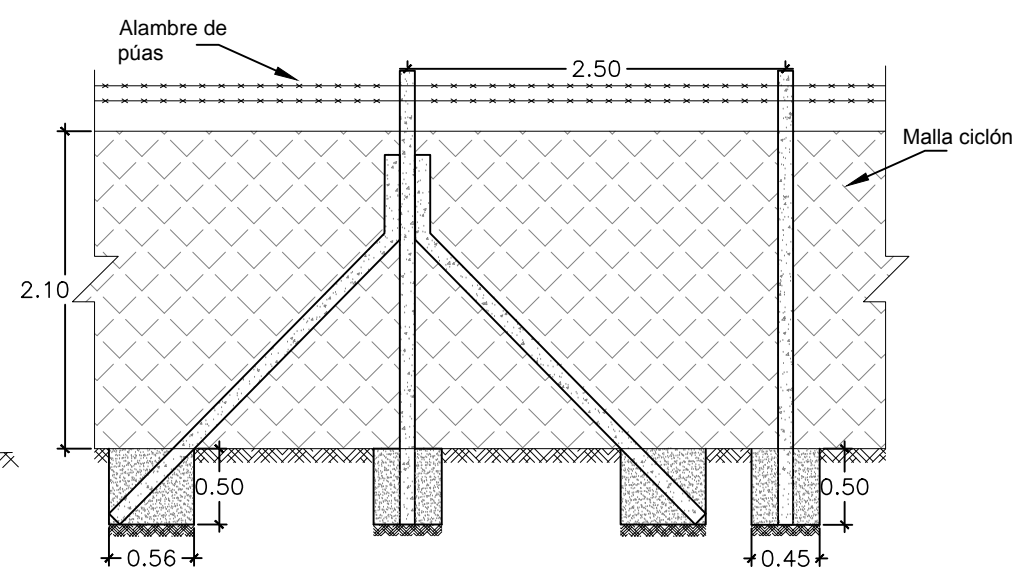
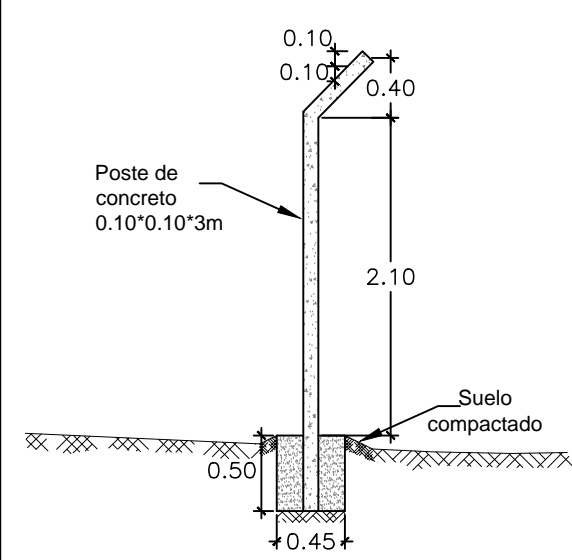
Detalle de Muro Gavión
ESCALA 1:100



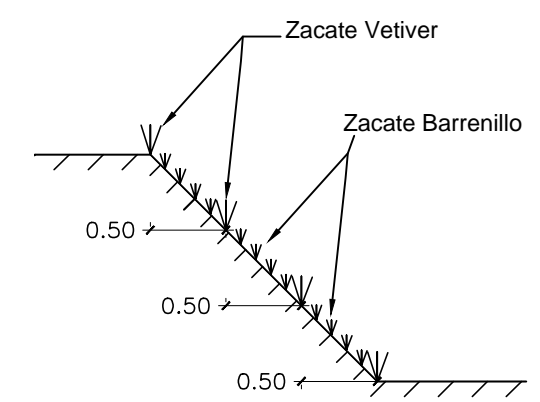
Detalle de Shotcrete
ESCALA 1:50



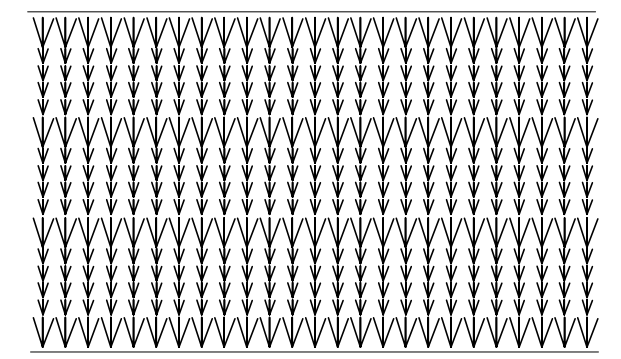
Detalle de Muro Soil Nailing
SIN ESCALA



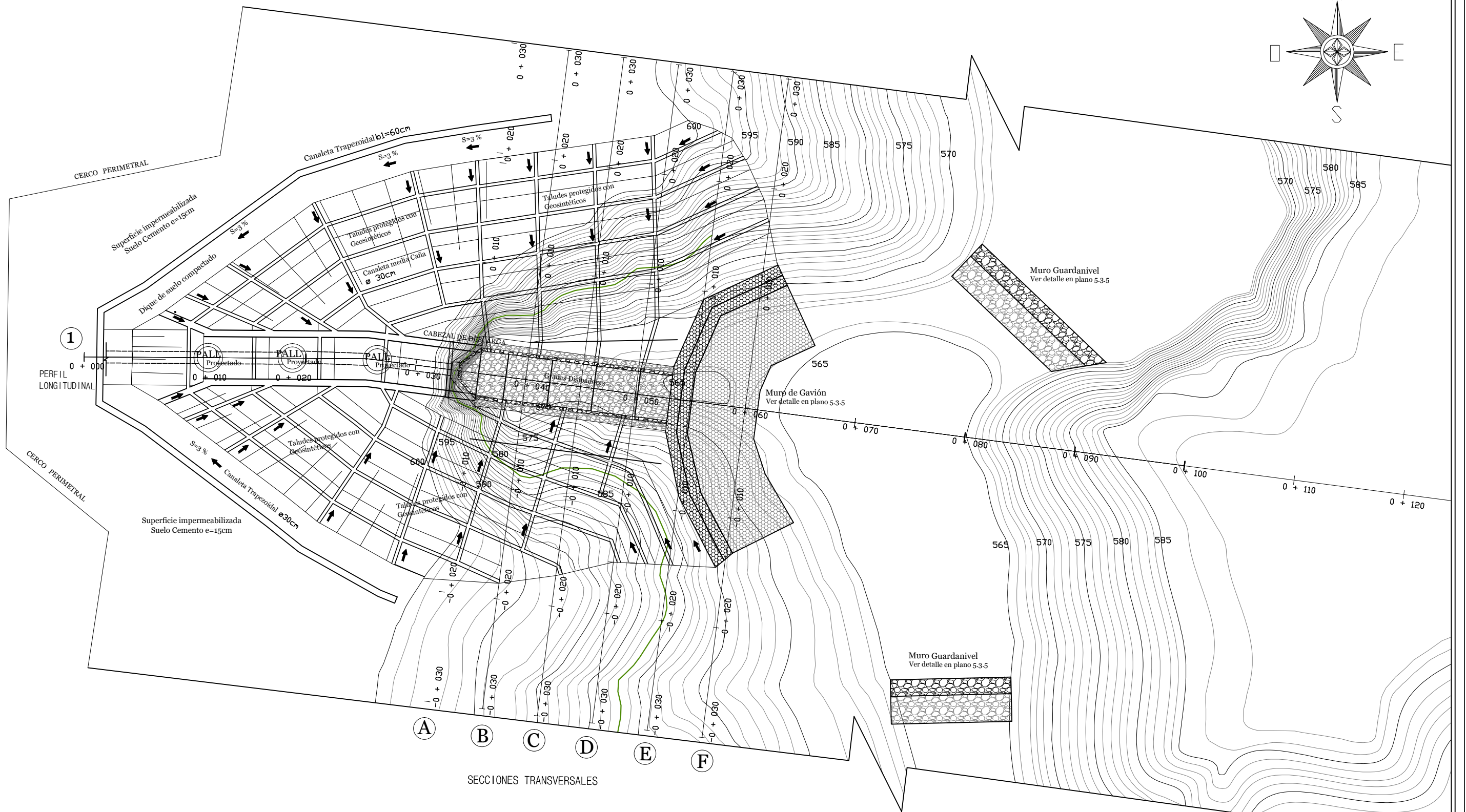
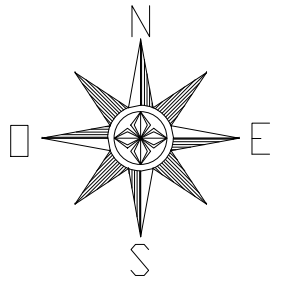
Detalle de cerco perimetral
ESCALA 1:50



Detalle de vegetación en taludes
ESCALA 1:50



***ANEXO N°10:
PLANOS DE ALTERNATIVA DE
SOLUCIÓN N°3***



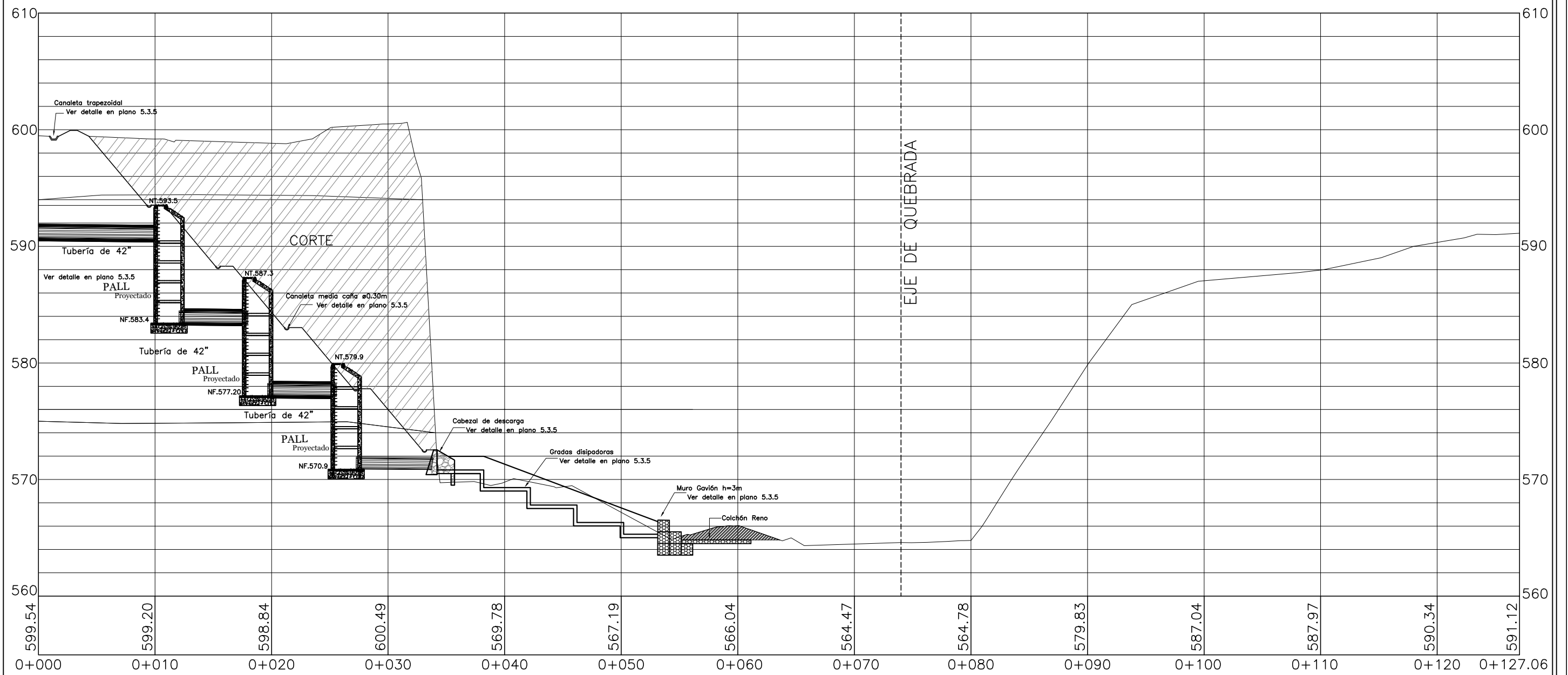
PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCACCIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

PLANO N° 5.3.1

ESCALA 1:350



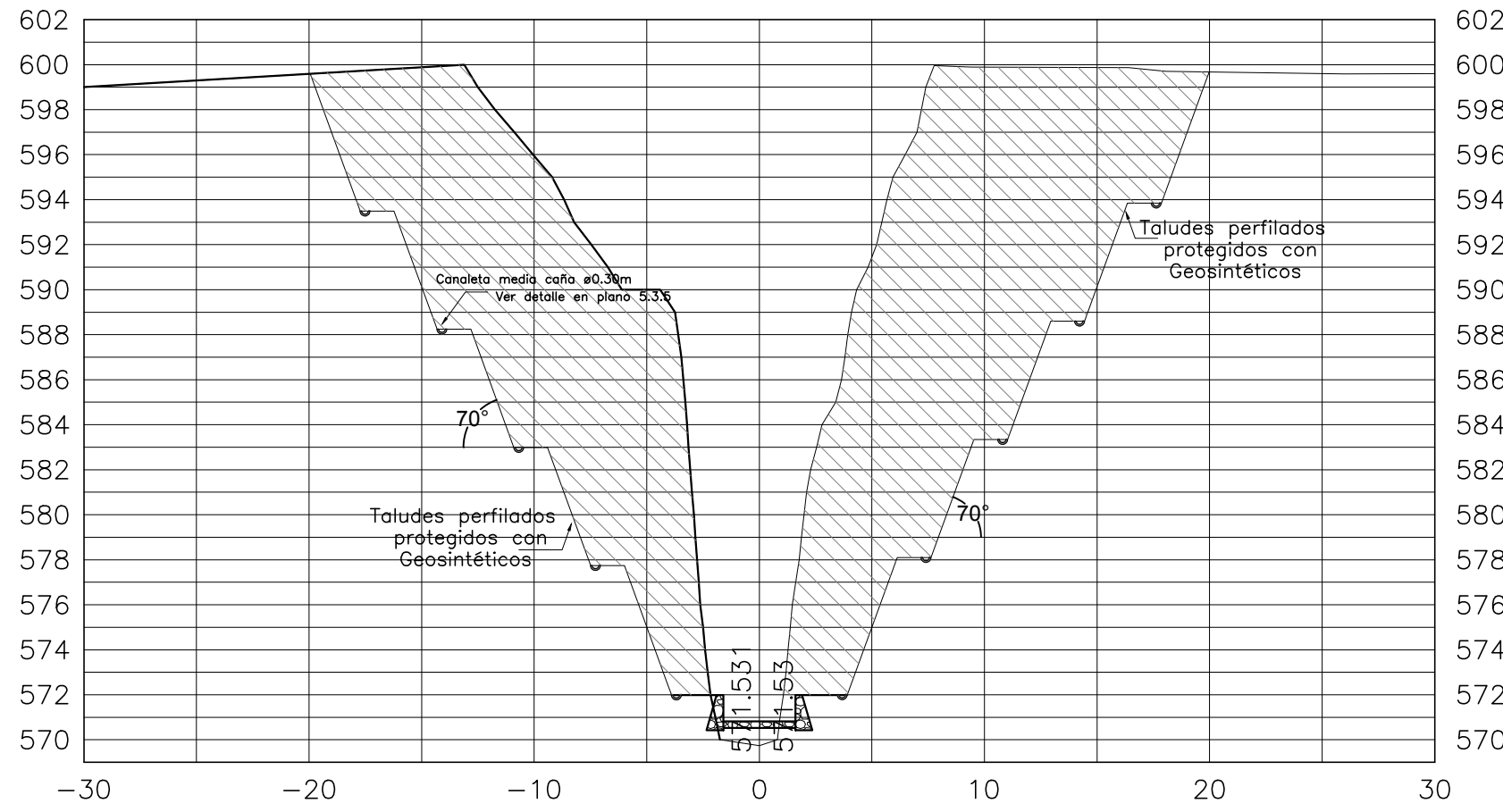
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

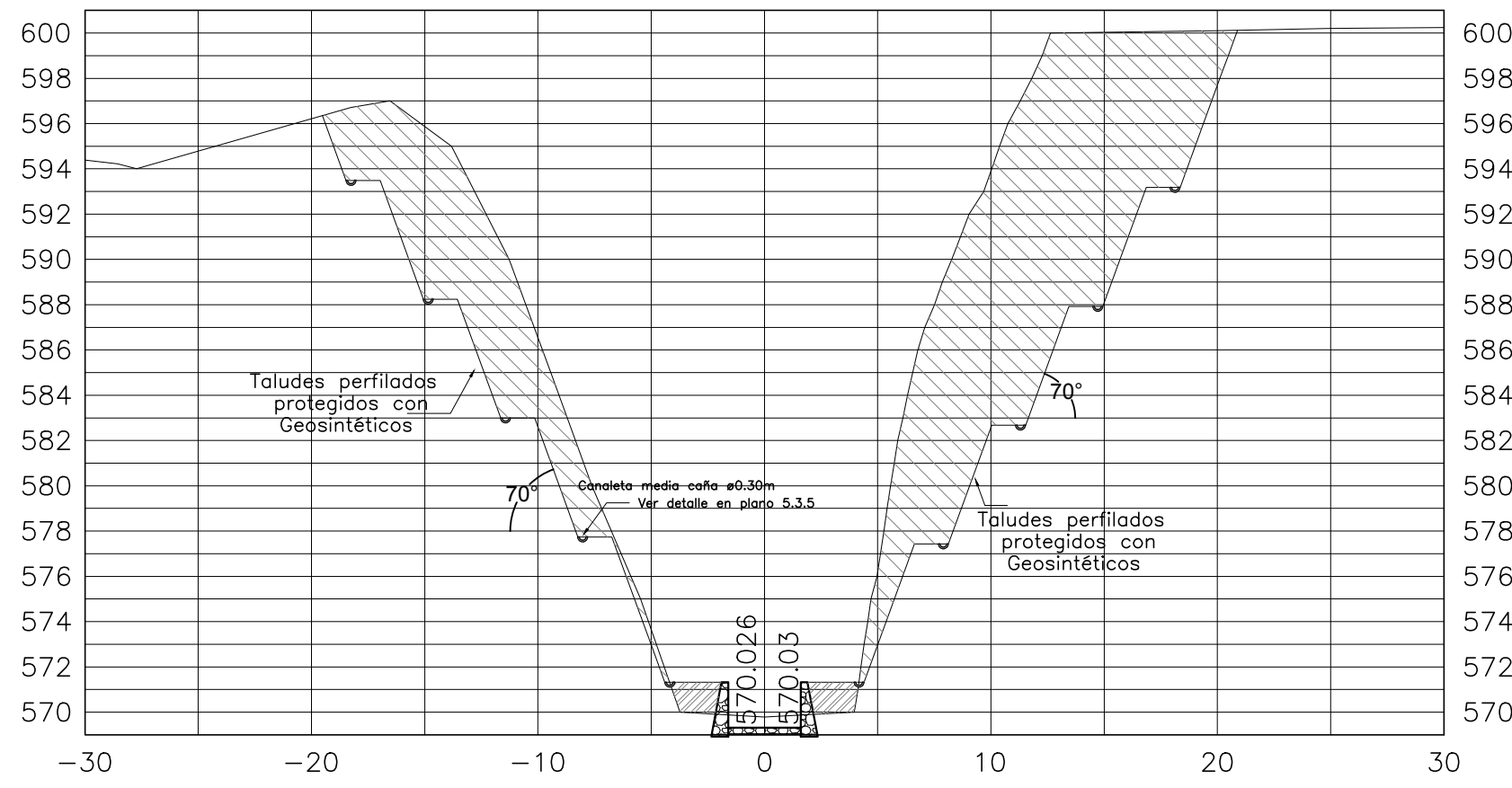
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

PLANO N° 5.3.2

ESCALA 1:350



0+035
SECCIÓN A



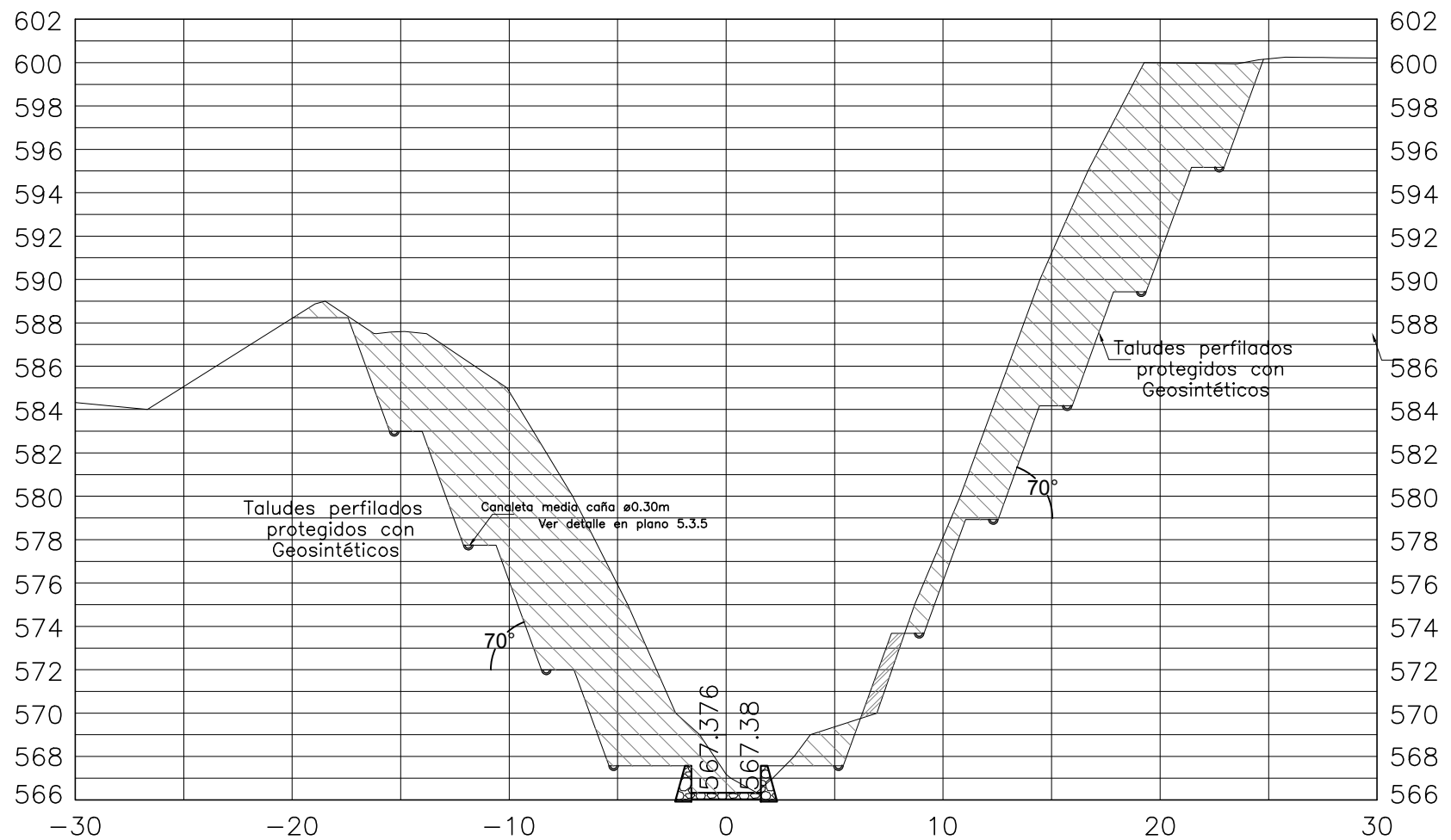
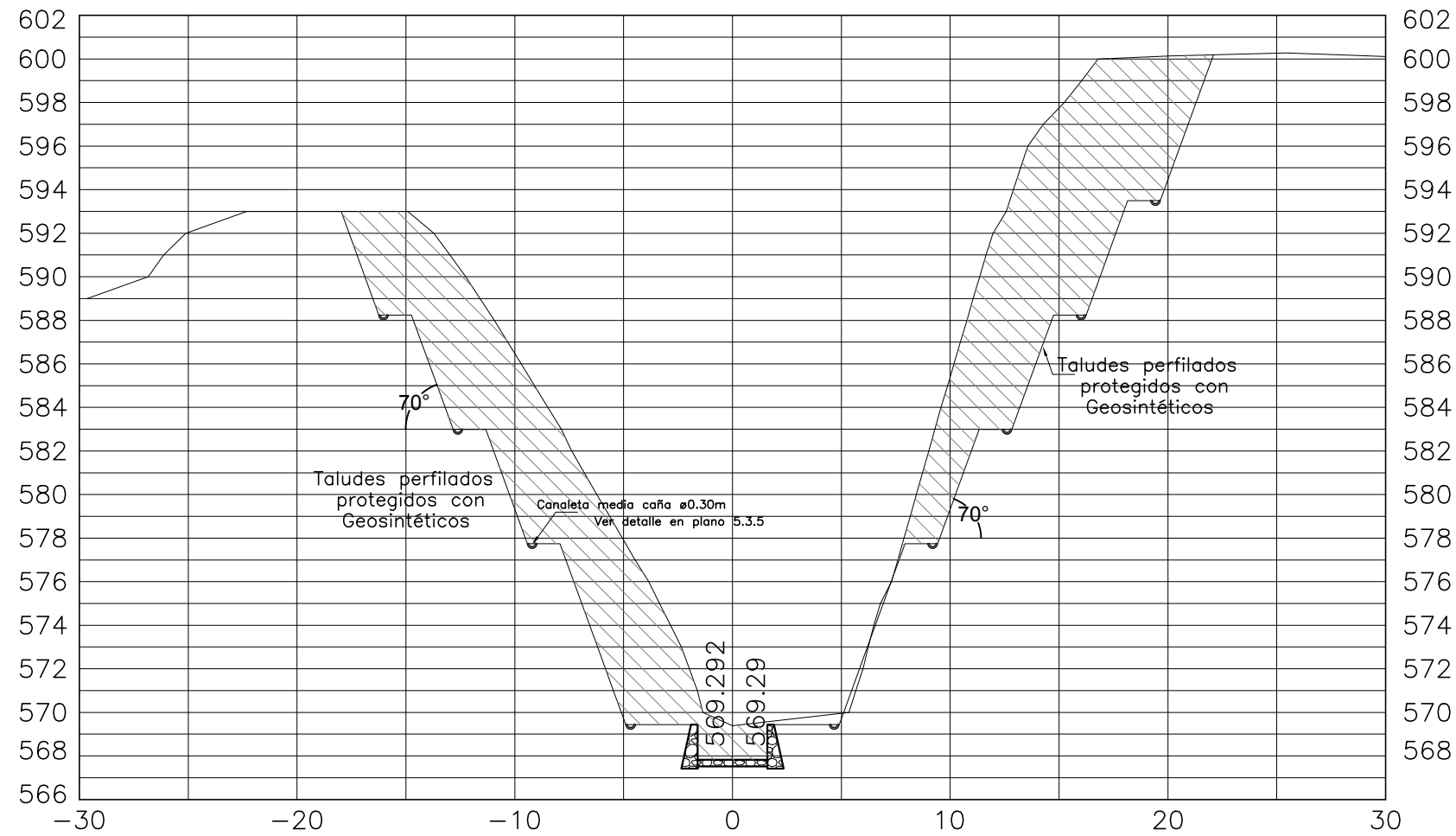
0+040
SECCIÓN B

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE CÁRCAVA
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

PLANON° 5.3.3

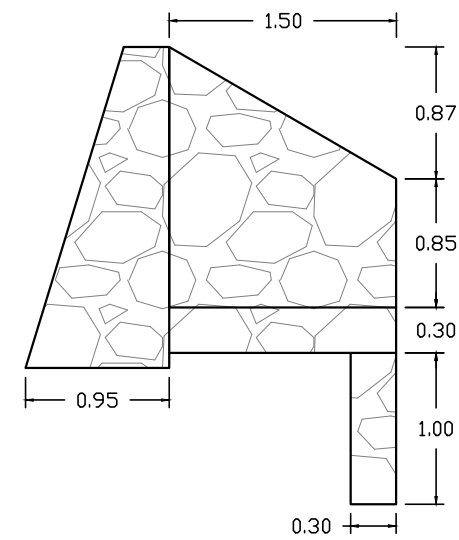
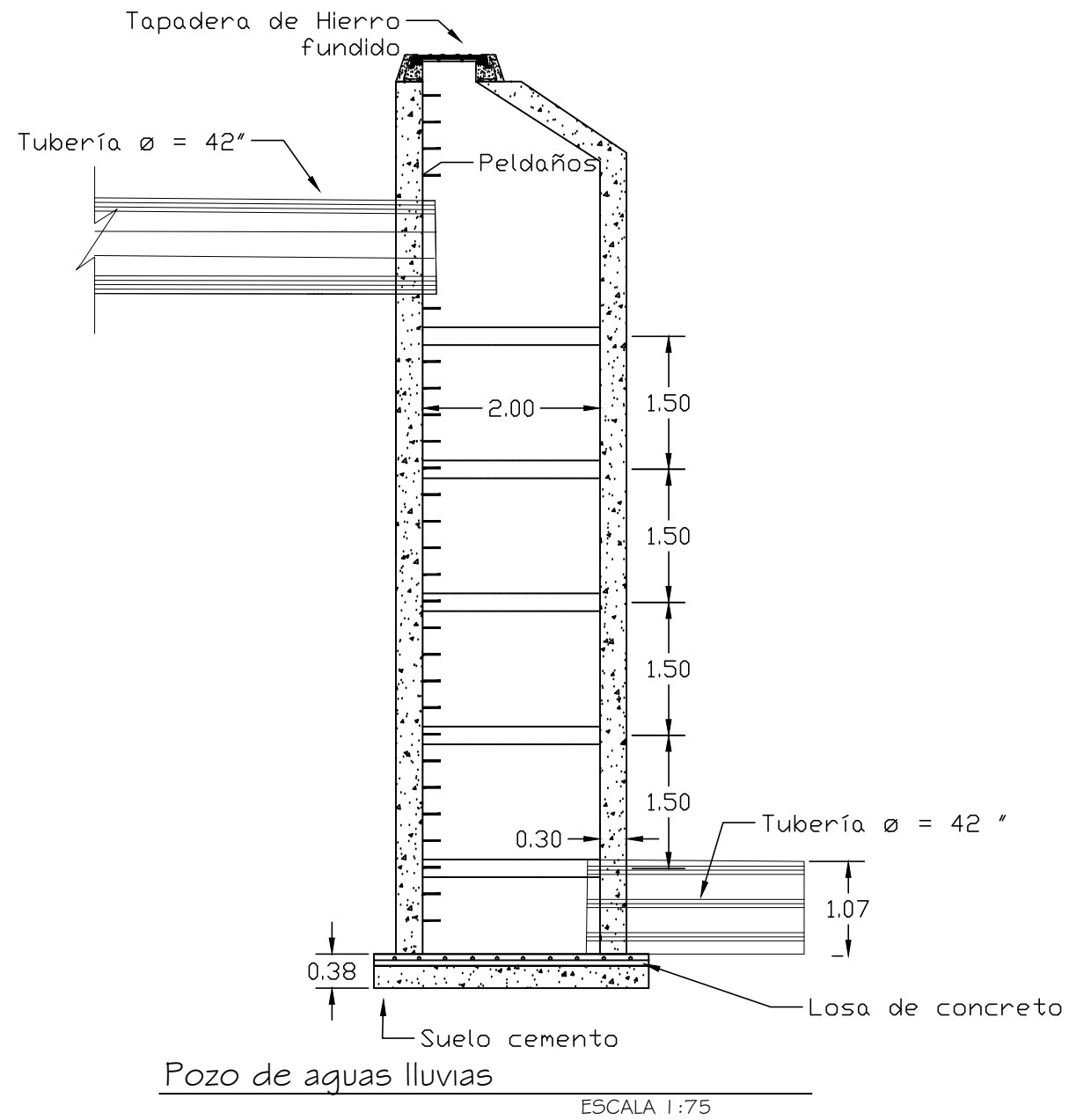
ESCALA 1:300



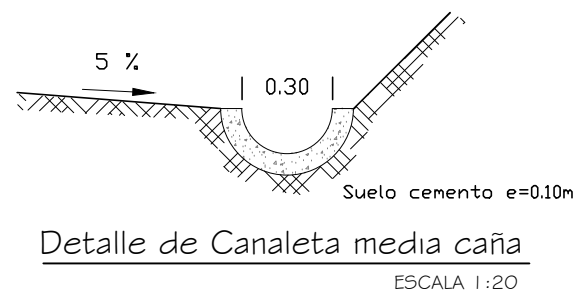
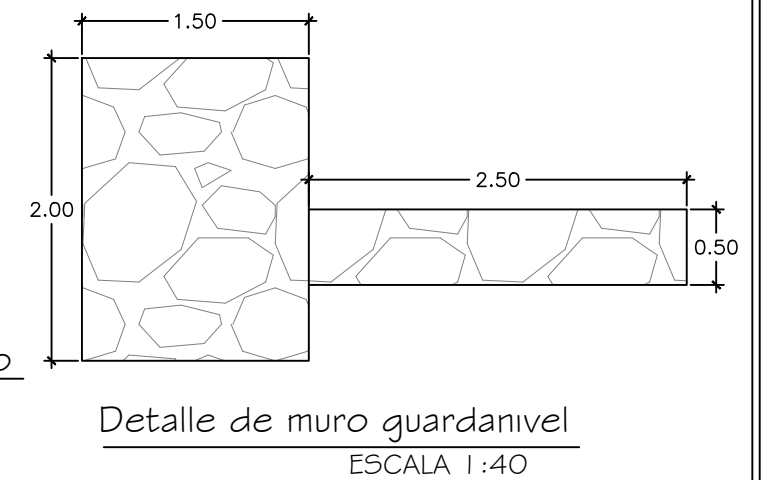
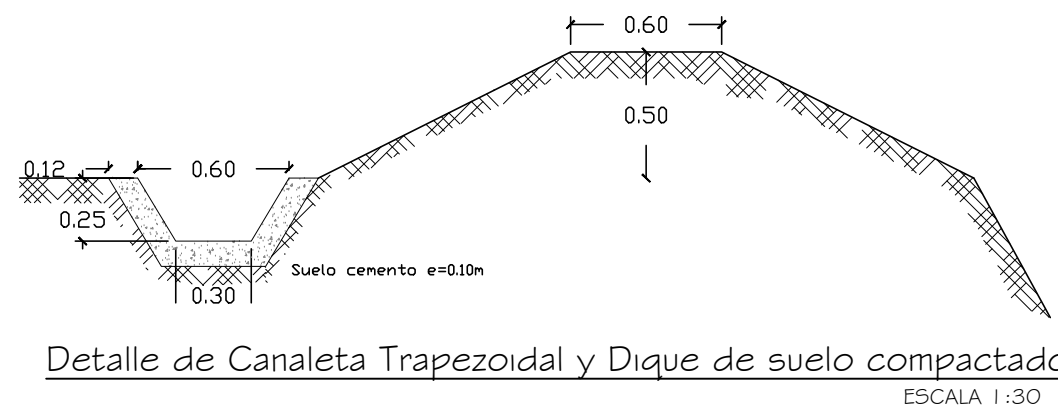
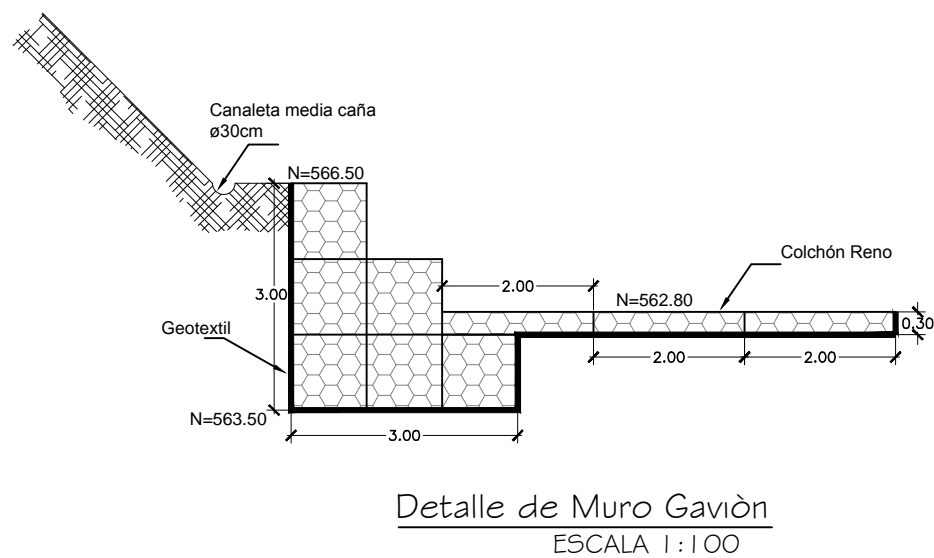
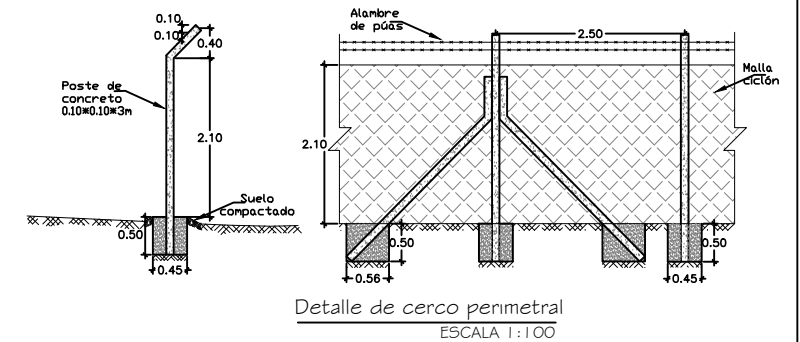
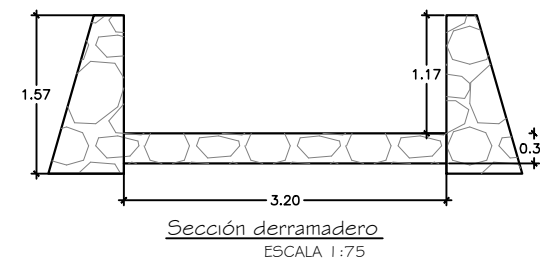
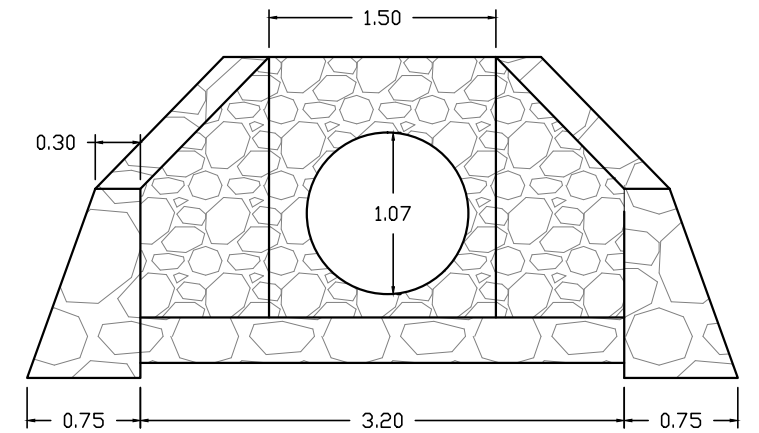
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
 LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

SECCIONES TRANSVERSALES DE CÁRCAVA
 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

PLANO N° 5.3.4 ESCALA 1:300



Detalle de cabezal de descarga
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SOLUCIONES TÉCNICAS A PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN DE GRAN TAMAÑO
LLAMADAS CÁRCAVAS EN EL MUNICIPIO DE ILOPANGO DEPTO. DE SAN SALVADOR

DETALLES DE OBRAS
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN N°3

PLANO N° 5.3.5 ESCALAS INDICADAS