

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA**



**“ DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION CONTRA RIESGOS
POR DESLIZAMIENTO DE SUELO EN EL CERRO SANTA
LUCIA, CIUDAD DE SANTA ANA ”**

PRESENTADO POR:

**SILVA HERNANDEZ, LUIS ROBERTO
TRINIDAD FIGUEROA, DAVID ALFONSO
VARGAS QUEZADA, HECTOR RAUL**

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

- FEBRERO DE 2003 -

SANTA ANA

EL SALVADOR

CENTROAMERICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA**

**TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL**

TITULO:

**“ DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION CONTRA RIESGOS
POR DESLIZAMIENTO DE SUELO EN EL CERRO SANTA
LUCIA, CIUDAD DE SANTA ANA ”**

PRESENTADO POR:

SILVA HERNANDEZ, LUIS ROBERTO

TRINIDAD FIGUEROA, DAVID ALFONSO

VARGAS QUEZADA, HECTOR RAUL

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

ING. MIGUEL ANGEL MARROQUIN

DOCENTE DIRECTOR:

ING. CARLOS OBDULIO GOCHEZ

SANTA ANA, FEBRERO DE 2003

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIO GENERAL:

LICDO. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO:

LICDO. REMBERTO ELIAS MANGANDI

SECRETARIO:

LICDA. ANA EMILIA PADILLA DE PADILLA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

DIRECTOR:

ING. MAURICIO ERNESTO GARCIA EGUIZABAL

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR DE TRABAJO DE GRADUACION:

ING. MAURICIO ERNESTO GARCIA EGUIZABAL

DOCENTE DIIRECTOR:

ING. CARLOS OBDULIO GOCHEZ

AGRADECIMIENTOS GENERALES

A LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE:

Por brindarnos la oportunidad de acceder a una educación de primer nivel, que nos permitirá desenvolvernos durante nuestra vida profesional. Gracias.

A NUESTRO ASESOR:

ING. MIGUEL ANGEL MARROQUIN

Por haber colaborado incondicionalmente en el desarrollo del presente trabajo de graduación

A NUESTRO DOCENTE DIRECTOR:

ING. CARLOS OBDULIO GOCHEZ

Por su apoyo durante el desarrollo de la tesis, quien guió nuestros pasos para alcanzar nuestra meta.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo poderoso:

Por haberme dado la vida, salud, fuerza y la entrega para lograr esta grandiosa meta.

A mis padres:

Elvira del Carmen Hernández

Orlando Alberto Silva

Por apoyarme con tanto esfuerzo durante toda mi carrera hasta el momento de su culminación

A mis hermanos:

Por su apoyo y su confianza

A mis abuelos:

Por su confianza y apoyo, sin el cual no hubiese podido seguir adelante.

A los docentes:

Quienes me motivaron e instruyeron en las ciencias necesarias para la vida profesional.

A mis compañeros de tesis.

Que con tanto esfuerzo y esmero trabajando como un equipo, logramos alcanzar nuestra meta.

Luis Roberto Silva Hernández

A Dios Todopoderoso:

Doy gracias a tí Dios todo poderoso por haberme dado vida y permitirme culminar esta carrera, porque solo por tu gracia es que he podido ser capaz de obtener este logro, tu sabes Señor que nada de lo que tengo podría haberlo logrado sin tu ayuda, gracias por esto y por todo lo que he vivido para lograrlo.

A mis padres:

Gracias también a mis padres, porque Dios a través de ellos me ha brindado todo lo que he necesitado para llegar hasta donde estoy, gracias madre por haberme apoyado todos estos años y porque gracias a tus esfuerzos he podido terminar esto, gracias papá por haberme sabido educar y enseñarme todo lo que debo saber para ser como soy, a ellos les debo mucho.

A los docentes:

Agradezco también a todos esos maestros dentro y fuera del Alma Mater, de los cuales he podido aprender tantas cosas muy útiles para mi vida y mi carrera. Gracias al Director y al Asesor de tesis por apoyarnos en nuestro trabajo, ya que sin su valiosa ayuda no podríamos haber realizado esta investigación y gracias a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a terminar este trabajo.

A mis compañeros de tesis y amigos:

Gracias a mis compañeros y amigos por todas las experiencias que vivimos, sobre todo a ustedes Luis y Héctor, por haberme comprendido y ayudado a terminar este trabajo, son dos personas que admiro mucho. Y que Dios tenga en gloria a Pérez Chávez.

A mi amor:

Finalmente le doy gracias a una persona muy importante para mi, la cual Dios ha puesto en mi vida en el momento mas oportuno, gracias Gaby por brindarme tu apoyo, tu comprensión y sobre todo tu amor, gracias a ti se me hace más fácil salir adelante.

David Alfonso Trinidad Figueroa

A Dios Todopoderoso:

Por haber siempre permanecido a mi lado, guiándome y brindándome la fuerza y la salud necesaria para alcanzar la meta trazada.

A mis padres:

Héctor Oliverio Vargas Velado y Ana Delia Quezada, por su apoyo y su sacrificio incondicional, sin el cual nunca hubiese podido alcanzar una buena formación personal e intelectual, sólo quiero decirles: gracias. Los quiero.

A mi hermana:

Delia Yamileth Vargas Quezada, quien siempre ha estado brindándome su apoyo y su comprensión. Nunca lo olvidaré.

A los docentes:

A *“aquellos”* que contribuyeron en mi formación profesional y que me brindaron su amistad.

A mis compañeros de tesis y amigos:

Luis Silva y David Trinidad, con quienes a pesar de los innumerables inconvenientes que surgieron, supimos culminar con éxito el trabajo de graduación.

A mis amigos:

Siempre han estado allí cuando los he necesitado, espero que continúe así. Ustedes saben quienes son. Con aprecio a *Roger Ovidio Pérez Chávez, donde quiera que te encuentres, que Dios esté contigo. Hasta siempre.*

Héctor Raúl Vargas Quezada

INDICE

CAP. I GENERALIDADES

1.1	INTRODUCCION	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	3
1.3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.2	ANTECEDENTES	4
	- SITUACION GEOGRAFICA DEL DISTRITO DE SANTA ANA	4
	- UBICACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE LAS LADERAS DEL CERRO SANTA LUCIA	4
	- HISTORIA GEOLÓGICA	4
	- HISTORIA SISMICA	6
	- DESARROLLO URBANO	9
	- ESTUDIOS PERTINENTES	10
1.3.3	JUSTIFICACION	11
1.3.4	ALCANCES	13
1.3.5	LIMITANTES	13
1.4	MARCO TEORICO DE REFERENCIA	14
1.4.1	LITOLOGÍA DE EL SALVADOR	14
1.4.1	MOVIMIENTOS DE MASA	16
1.4.3	ORIGEN DE LOS DESLIZAMIENTOS	17
	a) CLIMA	17
	b) TOPOGRAFÍA	17
	c) GEOLOGÍA	17
	d) FACTORES ANTROPICOS	18
1.4.4	CLASIFICACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS	19
	a) DESLIZAMIENTOS SEGÚN EL MOVIMIENTO	19
	b) DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES	20
	c) DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES	22
	d) EXTENSIONES LATERALES	25
	e) MOVIMIENTOS COMPLEJOS	27

1.4.5	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LADERA	29
1.4.6	NORMATIVA LEGAL PERTINENTE	29

CAP. II

DIAGNOSTICO DEL PROYECTO

2.0	INTRODUCCION	31
2.1	CARACTERISTICAS TOPOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
2.1.1	TOPOGRAFIA DE LA ZONA	32
2.1.2	PENDIENTES PROMEDIO DE LAS LADERAS	32
2.1.3	DESCRIPCIÓN DE LAS TERRAZAS	34
	- TERRAZA 1	34
	- TERRAZA 2	35
	- TERRAZA 3	36
2.2	DESARROLLO URBANO	37
2.2.1	INDICE DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	37
2.2.2	NUMERO DE FAMILIAS AFECTADAS	38
2.2.3	CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS	39
2.3	LITOLOGIA DEL LUGAR	39
a)	FORMACIÓN DE SAN SALVADOR	40
b)	FORMACION DEL BALSAMO	40
2.3.1	TIPO DE SUELO EXISTENTE	41
	- ZONA A	41
	- ZONA B	42
2.4	CONDICIONES HIDROLÓGICAS	43
2.4.1	PARAMETROS FISICOS DE LA CUENCA CENIZA	43
2.4.2	MEMORIA DE CALCULO ESTUDIO HIDROLÓGICO	45
2.4.3	COEFICIENTE DE LA INFILTRACIÓN	47
	- RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PERCOLACIÓN	47
2.4.4	OBRAS DE DRENAJE EXISTENTES	48

- CANALETA TIPO 1	48
- CANALETA TIPO 2	50
- CANALETA CONFORMADA SOBRE TERRENO NATURAL TIPO 1	50
- CANALETA CONFORMADA SOBRE TERRENO NATURAL TIPO 2	51
- CANALETA CONFORMADA SOBRE TERRENO NATURAL TIPO 3	52
- POZOS EXISTENTES (DRENAJE PLUVIAL)	53
2.5 COBERTURA VEGETAL	55
2.5.1 TIPO DE FLORA EXISTENTE EN LA ZONA	55
- ZONAS DE VEGETACIÓN	55
a) FLORA EN EL ÁREA DEFORESTADA	55
b) COBERTURA VEGETAL DE LA LADERA SUR ESTE DEL CERRO SANTA LUCIA	56
2.5.2 INDICE DE DEFORESTACION.	59
2.6 MODELADO DEL RELIEVE	59
a) FACTOR HÍDRICO	60
b) FACTOR CLIMATICO	60
c) FACTOR ANTROPICO	60
2.6.1 GENERACIÓN DEL MODELADO	61
2.6.2 MODELADO DE TERRENO	61
- CONFIGURACIÓN VECTORIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	63
2.7 IDENTIFICACION DE RIESGOS	65
2.7.1 RIESGO VOLCÁNICO	65
2.7.2 RIESGO TECTONICO	67
2.7.3 RIESGO HIDRÁULICO	68
2.7.4 DESGASTE DE MASAS	68
2.8 RESUMEN	70

CAPITULO III. GEOTECNICA DEL SITIO DE ESTUDIO

3.0	INTRODUCCION	74
3.1	OBJETIVO	74
3.2	ESTUDIO DE SUELOS	74
3.2.1	LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL SITIO.	74
3.2.2	RESULTADOS OBTENIDOS	75
A.	PRUEBAS DE IDENTIFICACION	75
A.1	GRANULOMETRIA DE SUELOS.	81
A.2	LIMITES DE ATTERBERG	83
A.3	GRAVEDAD ESPECIFICA	83
B.	PRUEBAS MECANICAS	83
B.1	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR	84
B.2	PRUEBA TRIAXIAL	86
3.2.3	ANALISIS DE RESULTADOS	87
3.3	GEOTECNIA	91
3.3.1	DETERMINACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD	92
3.3.2	CONDICION DE ESTABILIDAD DE LA LADERA	102

CAPITULO IV. DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION Y MITIGACION DE RIESGO

4.0	INTRODUCCIÓN	105
4.1	OBJETIVO	105
4.2	METODOS PARA DISMINUIR Y / O ELIMINAR EL RIESGO	105
4.2.1	METODOS DE PREVENCIÓN DE LA AMENAZA O EL RIESGO	105
4.2.2	METODOS DE CORRECCION DE TALUDES SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS	106
4.3	CRITERIOS DE DISEÑO	107
4.3.1	FACTOR DE SEGURIDAD	107
4.3.2	PROPIEDADES DE SUELO	108
4.3.3	TOPOGRAFIA	108
4.3.4	ECONOMICO	108
4.4	OBRAS PROPUESTAS.	109
4.4.1	CORRECCION DE LA LADERA	109
4.4.2	CORRECCION DE DRENAJE SUPERFICIAL	109
4.4.3	EVALUACION DE FACTOR DE SEGURIDAD CON LAS MEDIDAS MITIGANTES	115

CAPITULO V. FICHA TECNICA Y ECONOMICA DEL PROYECTO

5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO	121
5.2 OBJETIVO DEL PROYECTO	121
5.3 CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL PROYECTO	121
5.4 CARACTERISTICAS FINANCIERAS DEL PROYECTO	122
5.5 CONCLUSIONES	123
5.6 RECOMENDACIONES.	124
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

FIG. 1.1 DEPARTAMENTO DE SANTA ANA	5
FIG. 1.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
FIG. 1.3 ZONAS DE ENJAMBRES SÍSMICOS	8
FIG. 1.4 ROTURA TIPICA CON FORMA DE CUCHARA	20
FIG. 1.5 ROTURA TIPICA CON FORMA CILINDRICA	20
FIG. 1.6 DIFERENTES SUPERFICIES CIRCULARES DE RUTA	20
FIG 1.7 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL EN UN SUELO	21
FIG 1.8 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DE MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO	22
FIG 1.9 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL EN CONTACTO SUELO – ROCA	22
FIG. 1.10 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL EN UN SUELO	22
FIG. 1.11 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL EN UN MACIZO ROCOSO	23
FIG. 1.12 CUÑA DIRECTA CON GRIETA DE TRACCIÓN	23
FIG. 1.13 CUÑAS DIRECTAS	24
FIG. 1.14 CUÑAS INVERSAS	24
FIG. 1.15 PANDEO POR FLEXION DE PLACAS LISAS	24
FIG. 1.16 PANDEO POR FLEXIÓN DE PLACAS FRACTURADAS	25
FIG. 1.17 PANDEO POR FLEXION DE PLACAS FRACTURADAS	25
FIG. 1.18 EXTENSIÓN LATERAL EN ROCAS	25
FIG. 1.19 EXTENSION LATERAL EN SUELOS	25
FIG. 1.20 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL Y TRASLACIONAL	26
FIG. 1.21 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL Y COLADA DE BARRO	27
FIG. 1.22 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL Y VUELCOS	27
FIG. 2.1 ESQUEMA DE UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO	32
FIG. 2.2 UBICACIÓN DE LAS PENDIENTES EN EL PLANO TOPOGRAFICO	33
FIG. 2.3 TERRAZA 1	35
FIG. 2.4 TERRAZA 2	36
FIG. 2.5 TERRAZA 3	36
FIG. 2.6 MAPA GEOLÓGICO AREA DE ESTUDIO	39

FIG. 2.7 ZONIFICACIÓN DE MATERIAL EXISTENTE EN LA ZONA	41
FIG. 2.8 CORTE DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA LITOLOGÍA EXISTENTE EN LA ZONA A	42
FIG. 2.9 POZO DE ABSORCIÓN DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA LITOLOGÍA SUPERFICIAL DE LA ZONA B	43
FIG.2.10 UBICACIÓN DE LA CUENCA ANALIZADA PARA LA EVALUACIÓN DEL DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE	44
FIG.2.11 VISTA EN PLANTA DE CANALETA TIPO 1 Y 2	49
FIG.2.12 SECCIÓN TRANSVERSAL DE CANALETA TIPO 1	49
FIG.2.13 SECCIÓN TRANSVERSAL DE CANALETA EN “V”	50
FIG.2.14 VIVIENDAS SIN NINGÚN TIPO DE PROTECCIÓN	51
FIG.2.15 CANALETA NATURAL TIPO 1	51
FIG.2.16 CANALETA NATURAL TIPO 2	52
FIG.2.17 CANALETA NATURAL TIPO 3	52
FIG.2.18 UBICACIÓN DE POZOS EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	53
FIG.2.19 POZO TIPO 1 OBSTRUIDO POR BASURA Y MATERIAL ARRASTRADO DESDE EL CERRO	54
FIG.2.20 POZO TIPO 2 SIN NINGUNA PROTECCION CONTRA MATERIALES DE ARRASTRE	54
FIG.2.21 ZONA VEGETACIÓN CERRO SANTA LUCIA	56
FIG.2.22 CORDIA ALLIODORA (LAUREL).	57
FIG.2.23 MODIFICACIÓN DEL MEDIO DEBIDO A LA ACCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES	60
FIG.2.24 MODELADO DE TERRENO EN CONDICIONES NATURALES DEL TERRENO	62
FIG.2.25 MODELADO DE TERRENO DE CONDICIONES ACTUALES	62
FIG.2.26 CONFIGURACIÓN VECTORIAL DEL TERRENO NATURAL	64
FIG.2.27 CONFIGURACIÓN VECTORIAL DEL TERRENO MODIFICADO	64
FIG.2.28 MAPA DE RIESGO VOLCANICO.	66
FIG.2.29 UBICACIÓN DE FALLA TECTONICA	67
FIG. 2.30a DESGASTE DE MASAS	69

FIG. 2.30b CARCAVAS	69
FIG.2.31 ESQUEMA DE INTERACCION DE FACTORES	72
FIG.3.1 LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	75
FIG.3.2 DIMENSION DE CALICATA	76
FIG.3.3 CALICATA 1.	76
FIG.3.4 CALICATA 2.	77
FIG.3.5 CALICATA 3.	78
FIG.3.6 CALICATA 4.	79
FIG.3.7 CURVA GRANULOMETRICA ESTRATO 1	81
FIG.3.8 CURVA GRANULOMETRICA ESTRATO 2	82
FIG.3.9 CURVA GRANULOMETRICA ESTRATO 3	83
FIG.3.10 EXTRACCION DE MUESTRAS DE SUELO POR SPT	85
FIG.3.11 ENVOLVENTE PRUEBA TRIAXIAL	87
FIG.3.12 CLASIFICACION SUCS ESTRATO 1	88
FIG.3.13 CLASIFICACION SUCS ESTRATO 3	89
FIG.3.14 PERFIL DE LADERA ANALIZADA	94
FIG.3.15 VISTA AMPLIADA DE CIRCULO DE FALLA	95
FIG.3.16 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE DOVELAS	95
FIG.3.17 LONGITUD SEGMENTO DE DOVELA	96
FIG.3.18 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 1	98
FIG.3.19 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 2	99
FIG.3.20 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 3	99
FIG.3.21 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 4	100
FIG.3.22 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 5	100
FIG.3.23 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 6	101
FIG.3.24 SUPERFICIE DE FALLA PROPUESTA N° 7	102
FIG.4.1 SECCION TRAPEZOIDAL DE CANAL	109
FIG.4.2 ESCORRENTIA SUPERFICIAL QUE CORRESPONDE A CADA CANALETA	111
FIG.4.3 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA UNO	115
FIG.4.4 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA DOS	116
FIG. 4.5 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA TRES	116

FIG. 4.6 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA CUATRO.	.	.	.	.	117
FIG. 4.7 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA CINCO .	.	.	.	.	117
FIG. 4.8 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA SEIS .	.	.	.	.	118
FIG. 4.9 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA SIETE	.	.	.	.	118

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1	SISMOS INTENSOS QUE HAN AFECTADO A SAN SALVADOR DESDE 1,538 A 2,002	7
TABLA 1.2	CUADRO RESUMEN DE LA LITOLOGÍA DE EL SALVADOR	15
TABLA 1.3	PROCESOS GRAVITACIONALES QUE SON FUNCION DE LAS PENDIENTES	28
TABLA 2.1	PENDIENTES PROMEDIO DE LA CONFIGURACIÓN NATURAL DEL TERRENO	33
TABLA 2.2	PENDIENTES PROMEDIO CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL TERRENO	33
TABLA 2.3	POBLACIÓN URBANA DEL DEPARTAMENTO DE SANTA ANA POR SEXO SEGÚN MUNICIPIO	38
TABLA 2.4	EDADES GEOLÓGICAS	40
TABLA 2.5	RESULTADOS DE ESTUDIO HIDROLÓGICO SOBRE CUENCA ANALIZADA	46
TABLA 3.1	COORDENADAS GEODESICAS DE SONDEOS	75
TABLA 3.2	PROGRAMA DE PRUEBAS DE IDENTIFICACION	81
TABLA 3.3	CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE	86
TABLA 3.4	RESUMENDE SUELOS ENCONTRADOS EN EL AREA DE ESTUDIO	90
TABLA 3.5	CUADRO COMPARATIVO DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA ESTABILIDAD DE LA LADERA	92
TABLA 3.6	CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD JANBU	97
TABLA 3.7	RESUMEN DE FACTORES DE SEGURIDAD	102
TABLA 4.1	TALUD Z PARA CANALES ABIERTOS	110
TABLA 5.1	PRESUPUESTO DE OBRAS DE MITIGACION PROPUESTAS	122

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	NORMATIVA LEGAL PERTINENTE
ANEXO 2	PERFILES LONGITUDINALES PROMEDIO
ANEXO 3	NOMOGRAMA COEFICIENTES ESCORRENTÍA
ANEXO 4	REGISTRO INTENSIDADES ESTACION EL PALMAR
ANEXO 5	GRAFICA DE INTENSIDAD DURACION
ANEXO 6	TIPOS DE POZOS ENCONTRADOS EN LA ZONA
ANEXO 7	FICHAS DE CAMPO DESCRIPTIVAS DE CALICATAS
ANEXO 8	DETALLES DE PRUEBAS DE SUELO
ANEXO 9	RESULTADO DE PRUEBA SPT
ANEXO 10	PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LOS SONDEOS
ANEXO 11	DETALLE DE PRUEBA TRIAXIAL
ANEXO 12	CORRRIDA DE PROGRAMA STABL 5
ANEXO 13	OBRAS DE PROTECCION PROPUESTAS
ANEXO 14	DISTRIBUCION EN PLANTA DEL DRENAJE
ANEXO 15	CURVA DE DESCARGA
ANEXO 16	DETALLE CONSTRUCTIVO DE CAJA
ANEXO 17	FICHA DE COSTOS UNITARIOS

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad así como en sus diferentes generaciones, se ha buscado a través de investigaciones científicas y observaciones objetivas permanentes descubrir las causas de ocurrencia de fenómenos naturales tales como los que se producen por geodinámica externa; causando deslizamientos de tierra que ocasionan amenaza para los asentamientos poblacionales, los cuales al desplazarse en grandes cantidades destruyen infraestructura y ocasionan pérdida de vidas humanas y por ende tienen un impacto socio - económico al país donde se originan.

La República de El Salvador y por lo tanto Ciudad de Santa Ana, se encuentra ubicada en la zona del Cinturón de Fuego del Pacífico, la cual por las características geológicas que posee está constantemente sometida a riesgo sísmico, que en muchos casos es causa de daños por deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas. En el área urbana de la Ciudad de Santa Ana se han identificado zonas en las que existe la probabilidad que se susciten deslizamientos, y que además cuentan con asentamientos poblacionales. Tal es el caso del sector poniente de la ciudad, más específicamente el Cerro Santa Lucía donde ya existe un estudio que se realizó como trabajo de graduación por estudiantes de la Universidad de El Salvador (U.E.S), Facultad Multidisciplinaria de Occidente (FMO), cuyo objetivo fue identificar los riesgos geológicos en la ciudad y dar recomendaciones sobre las posibles formas de mitigar los riesgos latentes en las zonas de estudios. El presente estudio es una continuación del trabajo antes mencionado, ya que se utilizarán pruebas de suelo in situ y en laboratorio así como todos los ensayos necesarios para la caracterización del material de la zona bajo estudio, los que proporcionarán todos los parámetros requeridos para proponer el diseño de las obras de ingeniería necesarias para reducir los riesgos a deslizamientos de tierras existentes en el sector. Todo el estudio estará referido a la vulnerabilidad existente en la zona del Cerro Santa Lucía ya que debido a las condiciones que presenta ha sido clasificada con mayor índice de vulnerabilidad.

1.2 OBJETIVOS

GENERALES:

- Diseñar obras de protección adecuadas a cada una de las posibles situaciones de deslizamiento que se presenten en la zona de estudio del Cerro Santa Lucía, con el objeto de disminuir la situación de riesgo en la que se encuentra la población residente en la colonia Altos de Santa Lucía.

ESPECÍFICOS:

- Investigar las posibilidades de ocurrencia de movimientos de suelos de la formación El Bálsamo, contiguo a la colonia Santa Lucía de la ciudad de Santa Ana.
- Proponer soluciones al problema de movimiento de tierras que pueden suscitarse en la zona de alto riesgo del Cerro Santa Lucía.
- Realizar una evaluación geológica con parámetros de resistencia del suelo existentes en la zona sujeta a análisis.
- Realizar una caracterización de macizos rocosos en los afloramientos de la zona en estudio.
- Realizar pruebas de campo para determinar la composición geológica del terreno y tomas de muestras del material del sitio que proporcionen los parámetros necesarios para el diseño de las obras de mitigación.

1.3 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

A continuación se describirán los objetivos que persigue el presente estudio, así como la problemática a la cual se pretende dar solución.

1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Cordillera del Bálsamo está formada por materiales de edad pliocénica y sus condiciones geológicas son tales, que la ladera del Cerro Santa Lucía es vulnerable a deslizamiento. La situación de deterioro en la que se encuentra la Cordillera del Bálsamo, específicamente la zona del Cerro de Santa Lucía, no es causa sólo de los procesos geológicos, sino también a la acción destructiva del hombre que en su necesidad de vivienda ha contribuido a modificar las condiciones naturales del entorno. Esto ha generado que las personas que habitan en lugares cercanos a laderas como lo es el caso de la colonia Altos de Santa Lucía, Ciudad de Santa Ana se vean amenazadas por un potencial deslizamiento de suelo.

Las entidades de socorro y organizaciones no gubernamentales han recomendado no solo la detención de los trabajos de lotificación y urbanización, sino también la evacuación de las viviendas ubicadas en las faldas del cerro.

Ante tal situación, la zona de estudio se considera vulnerable a deslizamientos por lo tanto surge la necesidad de realizar pruebas de suelo, tales como ensayos de penetración estándar, pruebas triaxiales y todas las pruebas necesarias que permitan definir la posibilidad de ocurrencia de un movimiento de suelo y que a la vez proporcione la información necesaria para dar solución mediante las obras de mitigación respectivas.

1.3.2 ANTECEDENTES

Situación Geográfica del Distrito de Santa Ana

El distrito de Santa Ana está situado en un valle a 650 metros sobre el nivel del mar entre las coordenadas geográficas centrales. 13° 59' 22" latitud norte y 89° 33' 10" longitud oeste. Está limitado al norte por el municipio de Texistepeque; al nor-este, por el municipio de Nueva Concepción, al este por los municipios de El Congo, Coatepeque y Nueva Concepción; al sur-este, por los municipios de Izalco y El Congo, al SO, por los municipios de Chalchuapa y Juayúa; al oeste por los municipios de San Sebastián Salitrillo, El Porvenir y Candelaria de la Frontera y al nor-oeste, por los municipios de Texistepeque y Candelaria de la Frontera. La extensión superficial es de aproximadamente 400.05 km² de la cual, 9.73 km² y 390.32 km² corresponden al área urbana y rural, respectivamente. El perímetro mide 132.0 km. (Ver figura 1.1)

Ubicación geográfica de la zona de las laderas del Cerro Santa Lucía

El Cerro Santa Lucía está ubicado en la zona nor-poniente de la Ciudad de Santa Ana, específicamente entre las latitudes 13° 58' 59.19" – 13° 59' 31.62" y las longitudes 89° 33' 53.33" – 89° 34' 25.83", en sus faldas se ubican las comunidades conocidas como Col. Santa Lucía, Col. Santa Lucía II, Colonia Contexa; en sus laderas se encuentra la comunidad Altos de Santa Lucía, la cual es el punto central del presente estudio (ver figura 1.2).

Historia geológica

- Historia:

No existen registros históricos o antecedentes, que denuncien procesos de movimientos de suelos en las laderas del área urbana de la ciudad, considerando y valorando las condiciones que estas presentaban en años pasados.

Figura 1.1: Departamento de Santa Ana



Figura 1.2: Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Tesis "Identificación de Riesgos Geológicos en la Ciudad de Santa Ana", Martínez Franciso. Marzo 2001

Geología de la zona:

Formación El Bálsamo (Predominante): Es la formación más antigua de la región de estudio. Concretamente está formada por materiales de edad mio-pliocénica y constituida por lavas de carácter básico (basáltico-andesítico) y por lo general muy masivo, aunque presentan intercalaciones de tobas fundidas y aglomerados volcánicos. La formación de El Bálsamo aflora al oeste y al este de la ciudad, en las lomas del cerro antes mencionado, que constituyen las estribaciones más meridionales de la cordillera central. La estructura superficial predominante en el Cerro Santa Lucía corresponde a la de un suelo franco-arcillo rojizos.

Historia sísmica

Terremotos

Los movimientos sísmicos y tectónicos en El Salvador son producidos por tres fuentes sismogénicas, a saber:

1. Sistema de Fallas "Ottawa"

Son fallas longitudinales con desplazamiento lateral izquierdo de 2 cm. al año, que en parte controlan el valle del Río Ottawa en la República de Guatemala.

2. Zona de Subducción de la Placa de Cocos.

Zona que corre paralela a unos 50 km de las costas del Pacífico de Centro América, en donde la litosfera oceánica se sumerge por debajo de la litosfera continental: los hipocentros se encuentran localizados entre 0 y 170 km. fuera de costas salvadoreñas. Siendo el más importante y el de mayor riesgo sísmico para el país, el hipocentro medio localizado entre 30 y 70 km. desde la costa, con profundidades focales entre 50 y 60 km, cuya energía liberada daña gran parte del territorio nacional y es perceptible en todo El Salvador, abarcando algunas veces unos 300 km. dentro del continente. Sin embargo, un sismo de considerable magnitud generado en la franja hipocéntrica más cercana, 0 a 30 km, podía causar daños humanos y materiales en la mayor parte del país.

3. Sistema de Fallas Territoriales.

Zona de debilidad tectónica y morfológicamente joven, caracterizada por una composición de suelos no compactos por las recientes erupciones de productos piroclásticos ácidos (ceniza volcánica), con rumbo predominante de nor-oeste –sur-este a lo largo de la franja media del territorio, es la principal causa de destrucción

en El Salvador debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas. A continuación se presenta una reseña histórica de los sismos intensos que han afectado a San Salvador y su entorno:

Tabla 1.1 Sismos Intensos que han afectado a San Salvador desde 1538 a 2002

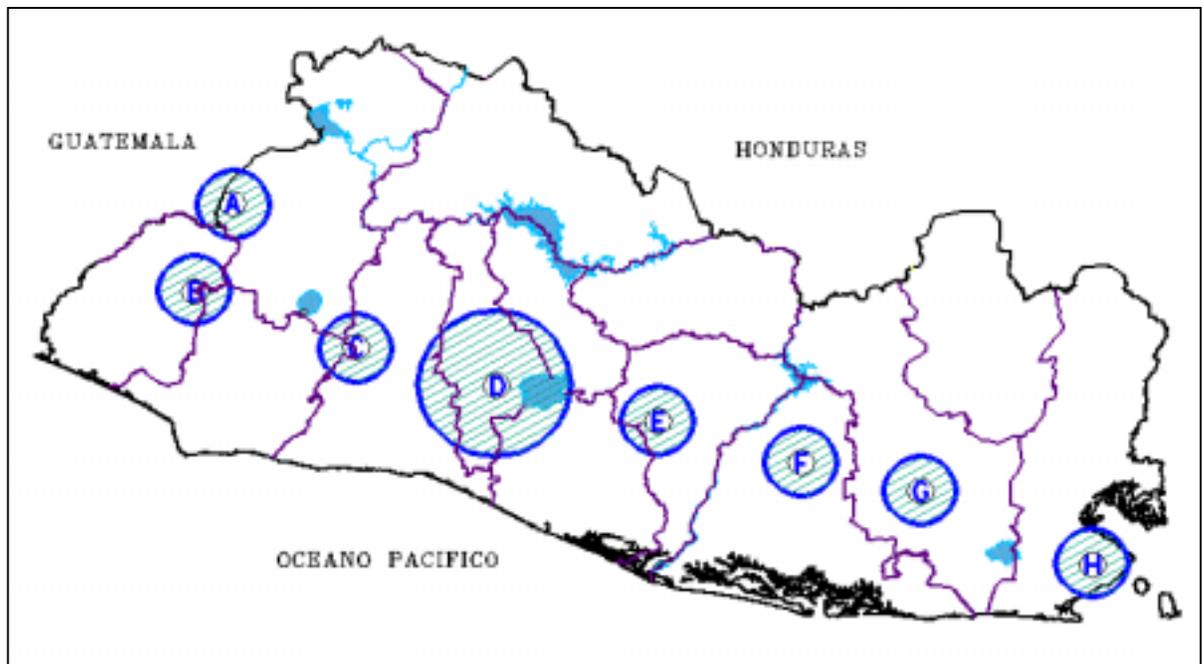
Fecha	Descripción	Magnitud Esc. de 0 a 9	Intensidad Esc. de 1 a IX
1533	Sacudimiento	6.3	VIII
1575 (5/23)	Sismo destructivo. Período de actividad volcánica		
1581	Violento terremoto	6.9	VIII
1594	Violento terremoto y erupción por el lado del Playón		
1597	Sismo poco destructivo (PC)	5.9	VII
1625	Ruina memorable	6.9	VIII
1650	Violento terremoto	6.3-6.9	VIII
1656	Violento terremoto	6.3-6.9	VIII
1658	Temblores y erupción por El Playón,	6.3	VIII
1662	Sismo poco destructivo	5.3	VI - VII
1671	Terremoto de San Bartolomé y erupción de cenizas	6.3	VIII
1707	Sismo poco destructivo	5.3 - 5.9	VI - VII
1719	Ruina (PC)	6.9	VIII
1730	Sismo poco destructivo	5.3 - 5.9	VI - VII
1765	Leve ruina (PC)	5.3 - 5.9	VI - VII
1776	Sismo poco destructivo (PC)	5.9	VI - VII
1798 (2/2)	Violento terremoto	5.3 - 6.9	VIII
1806	Ruina de San Salvador y erupción por El Playón	6.3	VIII
1814	Sismo poco destructivo	5.3 - 5.9	VI - VII
1815 (8/20)	Sismo poco destructivo (PC)	5.9	VI - VII
1831	Una de las varias ruinas habidas (PC)	5.9	VII
1839	Gran ruina. erupción de cerina	6.3	VIII
1839 (10/1)	Cae lo poco que quedó en pie	5.6	VII
1854 (4/16)	Destrucción completa de la ciudad	6.3 - 6.9	VII
1857	Focos daños (PC)	5.6	VII
1873	Destrucción parcial de la ciudad	5.6	VII
1879	Pocos daños	5.6	VII
1880	Pocos daños y formación de los cerros quemados en Ilopango	5.0 - 5.6	VI - VII
1917	Gran ruina y erupción del Boquerón	6.3	VIII
1919	Destrucción de San Salvador	6.3	VIII
1965	Daños moderados	5.1	VII
1986	Daños muy severos en un sector de San Salvador	5.4	VII - IV
2001 (1/13)	Daños muy severos en Santa Tecla	7.6	VII
2001 (2/13)	Sentido en todo el territorio de El Salvador	6.1 - 6.6	VII

Fuente: CEPREDENAC, 1987.

De estos eventos de destrucción, siete han sido ocasionados por sismos en la Zona de Subducción del Océano Pacífico y veinticinco se han debido a sismos locales de la cadena volcánica sobre la que se ubica el área en estudio.

La información disponible permite describir la existencia de al menos 67 zonas sísmicas (ver figura 1.3) comprendidas bajo la denominación de Sismicidad Local, de las cuales en la Región Occidental puede hablarse de al menos 16 zonas sísmicas de mayor importancia, distinguiéndose en el departamento de Santa Ana tres zonas sísmicas de importancia: cerca de Chalchuapa, municipio de Chalchuapa. al Norte de Santa Ana y en el área del Volcán Lamatepec; en el municipio de Santa Ana (CEPRODE. 1991).

Figura 1.3: Zonas de enjambres sísmicos



Fuente: Departamento de investigaciones sísmológicas, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas. El Salvador, C.A

El 18 de julio de 1912, un violento sismo de origen volcánico calculado como de 5.9 de magnitud (cálculos realizados en 1974 y 1993) y una intensidad máxima de VII Mercalli causa daños en las localidades occidentales de Armenia, Izalco y Santa Ana. Su epicentro es fijado en 13,87 latitud norte y 89,57 longitud oeste, con profundidad focal de 10 kilómetros.

A las 7:20 p.m. del 6 de septiembre de 1915, un fuerte sismo por subducción estremece a San Salvador y causa destrozos en Juayúa, Salcoatitán y el sur de Apaneca, además de que en Santa Ana causa cinco víctimas mortales y en San Vicente hace sonar las campanas de los templos y daña gran cantidad de viviendas. El profesor e investigador científico Jorge Lardé y Arthés realizó varios estudios y observaciones relacionados con este fenómeno, los que plasma en su opúsculo El terremoto del 6 de septiembre de 1915 y los demás terremotos de El Salvador. Con epicentro fijado en 13,90 latitud norte y 89,60 longitud oeste y a una profundidad de 60 kilómetros, este evento terrestre fue estimado, en 1980, en 7.7 grados de magnitud y una intensidad máxima de VIII - IX Mercalli.

No obstante, tal y como se puede observar, las máximas intensidades sísmicas se encuentran situadas en la zona sur, cerca del litoral, mientras que la zona norteña del país es de peligrosidad relativamente baja.¹

Desarrollo urbano

- Factor humano:

El elevado crecimiento poblacional que se ha dado en el país en los últimos años, no exceptuando la ciudad de Santa Ana con proyecciones de crecimiento de 2.94% anual; ha exigido políticas urbanísticas que han irrespetado los límites de crecimiento naturales del sector constituido en las direcciones este - oeste por las lomas del cerro en estudio, factor que ha provocado cambios dramáticos en las condiciones naturales y garantías ambientales que estos proveen, es decir, se ha generado una desestabilización por la explotación inadecuada del recurso suelo.

A partir de 1950 se completa la malla ortogonal o cuadrícula, aún con manzanas no consolidadas; y a partir de 1968 aparecen nuevas urbanizaciones, como la Colonia IVU y, antes de ésta, El Palmar, las cuales mantienen continuidad limitada con los ejes viales principales del área central.

¹ Comité de Emergencia Nacional de El Salvador

De 1981 hasta la actualidad se produce un gran salto con la aparición de urbanizaciones, parcelaciones y lotificaciones, que rompen totalmente con la malla ortogonal en cuanto a su morfología, estructura y organización.

El nuevo proceso de salpicar el territorio a destrozado por completo en pocos años una estructura y forma urbana considerada muy racional y que optimizaba el uso de suelo.

A pesar de que a partir del año 1992, la municipalidad de Santa Ana empieza a ejercer un cierto grado de control al desarrollo urbano, ha sido del todo imposible extraer información precisa sobre el incremento de nuevas superficies para los diferentes usos.

La implementación y ejecución de proyectos habitacionales en las laderas, principalmente del Cerro Santa Lucía, ha dado origen entre otras cosas a la deforestación incontrolada de la cobertura vegetal que por muchos años demostró garantizar la estabilidad de los suelos, proteger de las destructivas fuerzas de la erosión y controlar los procesos gravitatorios.²

Estudios pertinentes

En el Cerro Santa Lucía no se han efectuado estudios de carácter técnico, sin embargo luego de los eventos sucedidos el 13 de enero y 13 febrero del año 2001, y dada la vulnerabilidad que existe en ciertas zonas del cerro, se han realizado inspecciones de campo entre las cuales se puede mencionar un “Informe de inspección técnica de los proyectos urbanísticos Altos de Santa Lucía, Jurisdicción y Departamento de Santa Ana”; el cual fue realizado por instrucciones de la señora Ministra del Medio Ambiente y Recursos Naturales el 2 de febrero del año 2001 y con el propósito de atender denuncias de la comunidad y ONG’s. En dicho informe participaron las siguientes personas: Ingenieros Francisco Perdomo Lino, Carlos Aguilar Molina, Gilberto Díaz Valdivieso, Hugo Zambrana, Licenciados Jorge Sáenz, Josefina Urías, todos del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos

² Fuente: Plan Maestro de Desarrollo Urbano Santa Ana

Naturales (MARN), Geólogo Silvio Ticay, del Ministerio de Economía e Ingeniero William Rivas del MAG.³

Además en marzo del año 2001 se publicó en el periódico La Prensa Gráfica un reportaje en el que el Ing. José Orlando Mena alcalde en función de la Municipalidad de Santa Ana se comprometía con los pobladores que circundan el Cerro Santa Lucía a presentar un escrito ante la Asamblea Legislativa, para que éste fuera decretado como zona de reserva ecológica, con el propósito de evitar que siga siendo objeto de depredación por la mano del hombre. Para esta fecha el Alcalde de la Ciudad de Santa Ana aseguraba que los permisos otorgados a la empresa constructora habían sido derogados para que no se siguiera con la construcción de casas en las laderas del cerro y además exigía a la empresa constructora que había terraceado el cerro, la ejecución inmediata de obras de mitigación para evitar desgracias a posteriori.

También se cuenta con un estudio de determinación de riesgos denominado "Identificación de Riesgos Geológico en la Ciudad de Santa Ana" realizado en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la Universidad de El Salvador por Salvador Martínez, José Martínez y Adonai Martínez.

En dicho estudio, la zona de interés (Cerro Santa Lucía) ha sido designada como una ladera donde existe el riesgo de deslizamiento.

1.3.3 JUSTIFICACION

El Salvador es un país que posee una geología joven, además esta situado geográficamente cerca de una zona de subducción, lo que genera una alta actividad sísmica, capaz de producir fuertes terremotos que a su vez dan origen a grandes deslizamientos de suelo, como un ejemplo de estos fenómenos es el ocurrido el 13 de enero de 2001 en la zona habitacional conocida como Las Colinas, ubicada en el

³ Informe de inspección técnica en el Cerro Santa Lucía realizado por el COEN

sector sur-oeste de la ciudad de Santa Tecla, Departamento de la Libertad, esta situación causó pérdidas materiales y humanas en grandes proporciones. Estos procesos geológicos se vieron amplificados debido a la alteración de las condiciones naturales de la ladera durante los procesos de construcción de la zona residencial, que contribuyeron en cierta medida a desestabilizar las condiciones del sitio. A esto hay que agregar que no se consideró en ningún momento la construcción de obras de protección adecuadas que mitigaran el riesgo existente.

En la ciudad de Santa Ana se presenta una situación similar a la de Las Colinas, específicamente en la zona habitacional conocida como Altos de Santa Lucía, la cual se encuentra ubicada en el sector poniente de la ciudad, en las faldas del cerro del mismo nombre. El problema en esta zona surge debido a un proyecto de urbanización, el cual abarcaba parte del cerro, deforestándolo y realizando trabajos de terracería los cuales pusieron al descubierto estratos inferiores del suelo que son más susceptibles a la erosión y por consiguiente a la formación de cárcavas, lo que ocasiona que el terreno se fragmente en bloques, los cuales se encuentran en un alto grado de inestabilidad debido a que disminuye su presión de confinamiento.

Lo anteriormente mencionado pone de manifiesto la necesidad de realizar un estudio que permita definir la posibilidad de ocurrencia de un movimiento de suelos en el sector de la colonia Altos de Santa Lucía, así como también proporcionar soluciones a través de una propuesta de diseño de las obras de mitigación correspondientes.

1.3.4 ALCANCES

- Revisión y análisis de investigaciones anteriores de las zonas consideradas como vulnerables en la Ciudad de Santa Ana.
- Las pruebas a realizar son las siguientes: penetración estándar y ensayos de laboratorio como prueba triaxial y permeabilidad.
- El diseño de las obras de mitigación se enfocará al Cerro Santa Lucía, ya que esta zona se considera de gran vulnerabilidad dada la numerosa población que habita en su cercanía.
- Diseño y presupuesto de las obras de mitigación propuestas.
- Calculo hidrológico

1.3.5 LIMITANTES

- El uso de equipo de campo y laboratorio se dificulta debido al alto índice de delincuencia que se ha registrado en los últimos años en la zona de estudio.
- El área donde se pretende realizar el estudio es una zona privada por lo que dificulta el acceso a todas las áreas donde también es necesario hacer este estudio.

1.4 MARCO TEORICO DE REFERENCIA

Se presenta a continuación el marco teórico donde se mencionaran conceptos relativos a la temática principal del trabajo de investigación. se profundizará en la topología de deslizamientos de suelos ya que es la principal amenaza en el área de estudio.

1.4.1 LITOLOGIA DE EL SALVADOR

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por las siguientes clases de rocas:

Rocas volcánicas, las cuales cubren más de un 90% del país, que por su composición química y mineralógica comprenden rocas efusivas riolíticas y dacíticas en menor proporción; andesíticas y basálticas, así como también materiales piroclásticos, en una escala mucho mayor.

Rocas sedimentarias marinas, localizadas en el extremo nor-oeste del país, más exactamente en el norte del Departamento de Santa Ana, y parte del de Chalatenango. Estas comprenden en su mayoría calizas, conglomerados de cuarzo y areniscas.

Rocas sedimentarias de origen orgánico, localizadas en diferentes partes de la República, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos.

Rocas de carácter intrusivo, clasificadas petrográficamente como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven. La mayoría de ellas se formó en la Era Terciaria, posiblemente en los períodos Oligocénico y Miocénico. En cambio, un porcentaje menor tuvo su origen en la Era Cuaternaria, en el período Pleistocénico. Las más antiguas, que son las rocas sedimentarias marinas, se formaron a fines de la Era Secundaria, en el período denominado Cretácico Superior, lo cual expresado en números significa aproximadamente ochenta millones de años.

La Tabla 1.2, presenta un resumen de las unidades estratigráficas que componen la litología de la República de El Salvador y se muestra a continuación:

Tabla 1.2: CUADRO RESUMEN DE LA LITOLOGÍA DE EL SALVADOR

EDAD	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	OBSERVACIONES
RECIENTE	ALUVION	Gravas, arenas y arcillas a lo largo de ríos y en depresiones locales. Depósitos de este material en gran escala en las planicies costeras en el Sur - Oeste y el Sur – Este de la República.
HOLOCENO HASTA PLEISTOCENO	ESTRATOS DE SAN SALVADOR	<p>Productos efusivos de los volcanes individuales de la cadena volcánica joven, que atraviesa la parte Sur de El Salvador. Corriente de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escorias y cenizas volcánicas; a veces con intercalaciones de sedimentos lacustres (lignito y diatomita). El espesor y sucesión de los estratos varía de volcán a volcán.</p> <p>Suelos fósiles: suelo café y suelo negro (según la tipología de KUBIENA: Braunlehm y Pesudogley Tirsoide, respectivamente).</p>
PLEISTOCENO INFERIOR HASTA PLIOCENO SUPERIOR	ESTRATOS DE GUAZAPA	Productos efusivos de los volcanes individuales de la cadena volcánica vieja, que atraviesa la parte Norte de El Salvador. Corriente de lava, aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas endurecidas, tobas fundidas; intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. El espesor y sucesión de los estratos varía de volcán a volcán. Suelos fósiles: suelo rojo de poca profundidad (hasta 4 m) (según la tipología de KUBIENA: ROTLEHM).
PLIOCENO	ESTRATOS DE BALSAMO	<p>Productos volcánicos; prevalencia de aglomerados (lahars); intercalaciones de tobas volcánicas endurecidas y comentes de lavas basáltico-andesítica.</p> <p>El espesor alrededor de 500 m: En el Este de El Salvador solamente restos rudimentarios de esta serie. Suelos fósiles. Suelo rojo de gran profundidad (hasta 20 m) (según tipología de KUBIENA: ROTLEHM). Cubiertas de rocas extrusivas, con pocas intercalaciones de tobas volcánicas y aglomerados. Cubiertas en la parte inferior de carácter andesítico, en la parte superior de carácter basáltico.</p> <p>Protrusiones más ácidas (hasta carácter riolítico) sobre todo en el Este de El Salvador. Espesor probablemente mayor de 1000 m.</p>

**CONTINUACIÓN DE CUADRO RESUMEN DE LA
LITOLOGÍA DE EL SALVADOR**

EDAD	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	OBSERVACIONES
MIOCENO SUPERIOR HASTA MIOCENO INFERIOR	ESTRATOS DE CHALATENANGO	<p>Rocas volcánicas de carácter riolítico-dacítico. Prevalencia de tobas muy endurecidas de colores claros.</p> <p>El espesor de esta serie es probablemente bastante mayor de 500 m.</p> <p>Probablemente es la facies extrusiva de intrusiones grano-dioríticas, las cuales son más contemporáneas con la serie media de estos estratos.</p> <p>Areniscas finas de color rojo violeta, con bancos de conglomerados rojos de caliza con capas de areniscas. En su lecho, conglomerados monomixtos de caliza de color rojo-violeta y cantos de tobas volcánicas andesíticas. Esta serie representa los productos de erosión de las capas inferiores. Espesor mayor de 400 m.</p>
ALBIANO HASTA CRETÁCICO INFERIOR	ESTRATOS DE METAPAN	<p>Tobas volcánicas de carácter andesítico de color violeta. Espesor: 0 -? - 10 m.</p> <p>Serie de caliza en dos facies: caliza gris claro en bancos gruesos, y caliza oscura laminada. Espesor: aproximadamente 100 m.</p> <p>Areniscas rojas de grano fino con cemento arcilloso y estratificación fina: hacia abajo, conglomerados de cuarzo, que en su parte inferior generalmente están silificados.</p> <p>En el lecho de estas capas hay areniscas rojas finas de componentes arcillosos, en parte con estratificación diagonal.</p>

Fuente: Geografía de El Salvador, Ministerio de Cultura y Comunicaciones, Ministerio de El Salvador. 1977

1.4.2 MOVIMIENTOS DE MASAS

Los deslizamientos de suelo se definen como el movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo, debido a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en la ladera.

A estas condiciones se deben sumar factores externos como la sismicidad, el vulcanismo y las lluvias. En un segundo plano se deben considerar la deforestación, las aguas subterráneas, entre otras.

1.4.3 ORIGEN DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos de tierra se originan debido a diversos factores que afectan la estabilidad de las laderas, a continuación se detallan los principales:

a) Clima

El clima de acuerdo con las características que presenta puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar una suficiente cantidad de agua. Ello debido a la presión que ejerce el líquido en los poros y fisuras del suelo. Así mismo, las lluvias y la formación de corrientes de agua por la superficie (escorrentía superficial) favorecen los procesos de erosión. Las altas precipitaciones en combinación con el tipo de suelo en algunos casos material muy alterado fomenta la formación y aceleración de los deslizamientos ya que un suelo arcilloso se satura por la cantidad de agua recibida, se hace más pesado y unido con el grado de pendiente existente, se puede deslizar.

b) Topografía

Los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en terrenos de pendiente pronunciada y desprovistos de vegetación.

c) Geología

Aporta un número de parámetros importantes para comprender la inestabilidad de las laderas:

- Litología

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos entre los cuales tenemos: meteorización, intemperismo, etc.

- Estructuras

Determinan zonas de debilidad tales como fallas, diaclasas y plegamientos, y la colocación de los materiales en posición favorable a la inestabilidad (estratos).

- Sismicidad

Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

- Vulcanismo

Es un elemento disparador de fenómenos de inestabilidad, tanto por la propia actividad volcánica (sismos volcánicos y deformación del aparato volcánico), como por la acumulación progresiva de materiales fragmentarios (cenizas, bloques, etc.) que por sus características físicas favorecen la inestabilidad de los terrenos en áreas aledañas al aparato volcánico.

d) Factores Antrópicos (actividad del hombre)

Todos los fenómenos descritos anteriormente forman parte del natural equilibrio geológico y que puede romperse con la actividad constructiva y destructiva del hombre. De esta manera, el ser humano contribuye a provocar o acelerar estos fenómenos.

Esto sucede, cuando la actividad humana se realiza sin una adecuada planificación, especialmente en obras viales como carreteras y puentes, desarrollos urbanísticos, rellenos mal hechos, corte en el perfil natural de laderas, deforestación: prácticas agrícolas deficientes en la conservación de suelos, entre otros. Todo esto promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son naturalmente vulnerables a esta clase de fenómenos y que tienen graves consecuencias en el futuro.

1.4.4 CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS

Existen diversas clasificaciones para los deslizamientos entre las cuales tenemos:

a) Deslizamientos según el movimiento

Dependiendo de la velocidad, los deslizamientos se pueden clasificar en: rápidos y lentos.

- Rápidos:

Alcanzan velocidades hasta 3 metros por segundo y se pueden originar en zonas con pendientes muy fuertes y empinadas, donde domina la caída de rocas y residuos que se acumulan formando un talud, o se puede producir al deslizarse una gran masa en segundos o minutos. Entre ellos tenemos, desprendimientos y flujos de lodo.

- Lentos:

Las velocidades son del menores de 6 centímetros por año. Se caracterizan por transportar gran cantidad de material.

Evidencias que muestran la presencia de un deslizamiento lento son: la inclinación de los árboles a favor de la pendiente, la inclinación de cercas, el agrietamiento de casas, etc. Los efectos más importantes de los deslizamientos son:

- Ruptura o agrietamiento del suelo
- Erosión intensa
- Sepultamiento de infraestructura
- Pérdida de vidas
- Derrumbes
- Represamiento y generación de embalses en cauces fluviales con desarrollo de eventuales avalanchas de lodo y rocas

Los deslizamientos de laderas, desprendimientos de rocas y aludes de nieve son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra. Forman parte del ciclo natural del terreno ya que la erosión y la gravedad actúan constantemente para transportar materiales de las zonas más altas hacia abajo.

b) Deslizamientos rotacionales

Tienen lugar a lo largo de una superficie de desplazamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava (Fig. 1.4).

El movimiento tiene naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud (Fig. 1.5).

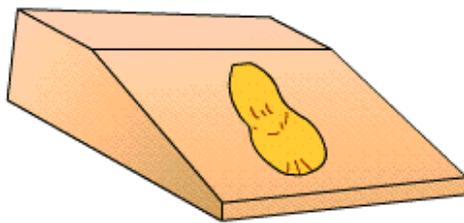


FIG 1.4 Rotura típica con forma de cuchara

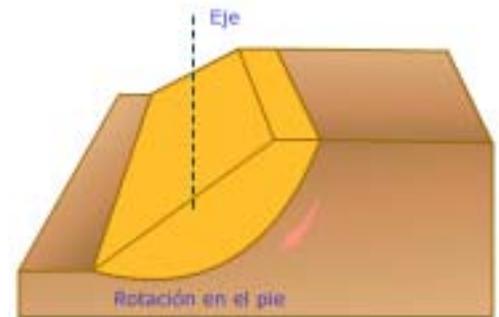


FIG 1.5 Rotura típica con forma cilíndrica

La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura e inclinación del talud, etc. (Figura 1.6).

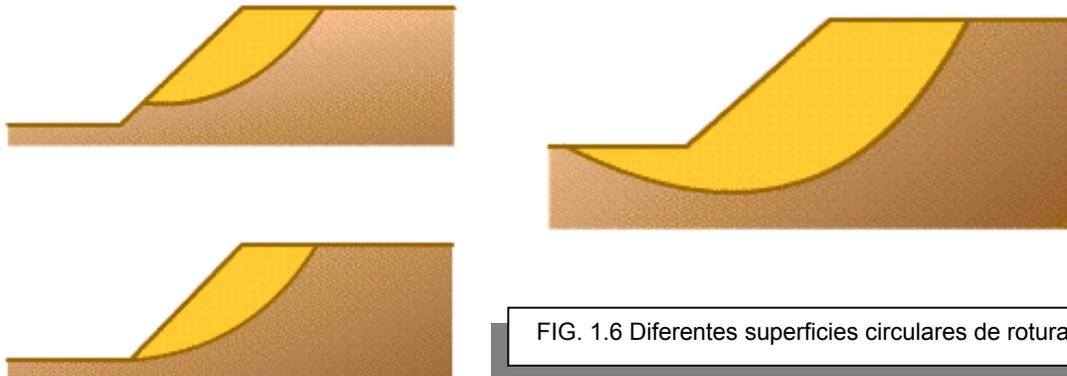


FIG. 1.6 Diferentes superficies circulares de rotura

Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie, se denomina superficie de rotura de talud.

Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre de superficie de rotura de pie de talud.

Si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina superficie de rotura de base de talud.

En la superficie del terreno suelen aparecer grietas concéntricas y cóncavas hacia la dirección del movimiento, con un escarpe en su parte alta, tanto más acusado cuanto mayor desplazamiento sufra la masa deslizada (Fig. 1.7).

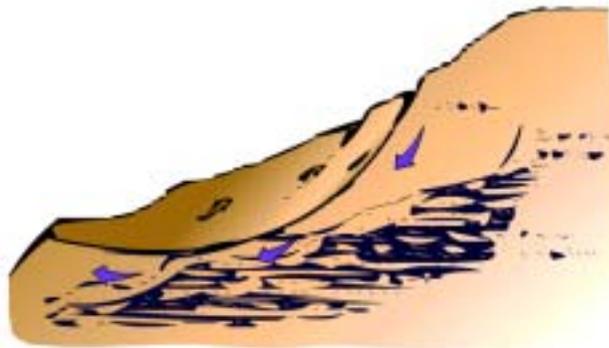


FIG. 1.7 Deslizamiento rotacional en un suelo

La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de rotura en el pie del deslizamiento (Fig. 1.8). Si el perfil de la superficie deslizada se inclina hacia el monte, se mejora el equilibrio en la masa inestable, decreciendo el momento inductor y pudiéndose llegar a detener el deslizamiento.



FIG. 1.8 Deslizamiento rotacional en macizo rocoso muy fracturado

c) Deslizamientos traslacionales

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie mas o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación (Fig. 1.9 y 1.10).

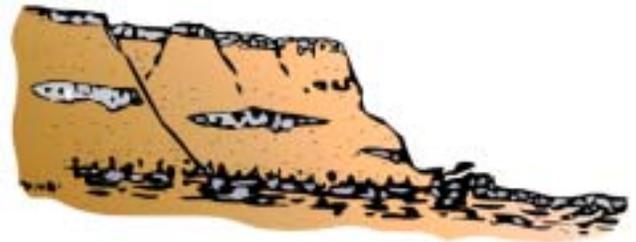


FIG. 1.9 Deslizamiento traslacional en contacto suelo-roca

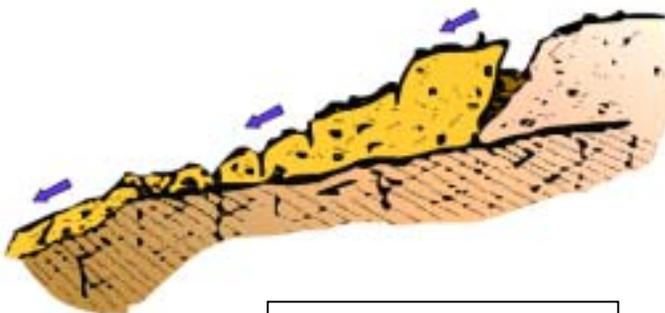


FIG. 1.10 Deslizamiento traslacional en un suelo

Comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno.

Los deslizamientos traslacionales están controlados por discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc.), influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades, etc. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos, con discontinuidades bien marcadas (Figura 1.11).



FIG. 1.11 Deslizamiento traslacional en macizo rocoso

El progreso de estos deslizamientos tiende a ser indefinido, siempre que la inclinación de la superficie de deslizamiento sea lo suficientemente grande, y la resistencia al corte inferior a las fuerzas desestabilizadoras.

Dentro de un deslizamiento traslacional pueden existir varias unidades pseudo independientes, denominándose entonces deslizamiento quebrado. Cuando la masa deslizada consta de una unidad no muy deformada o varias unidades estrechamente relacionadas, se denomina tipo bloque.

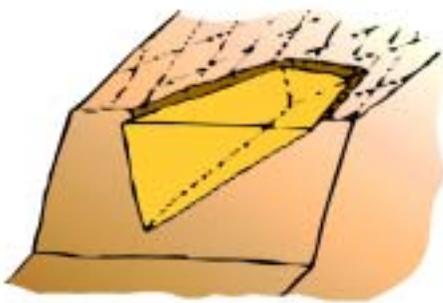


FIG. 1.12 Cuña directa con grieta de tracción

Existen deslizamientos traslacionales de gran variedad en su tamaño, formados por la intersección de dos discontinuidades o superficies de debilidad (Fig. 1.12).

Si ambas superficies se inclinan en sentido diferente, se denominan cuñas directas (Fig. 1.13). Cuando la inclinación es hacia el mismo sentido reciben el nombre de cuñas inversas (Fig. 1.14).



FIG. 1.13 Cuñas directas

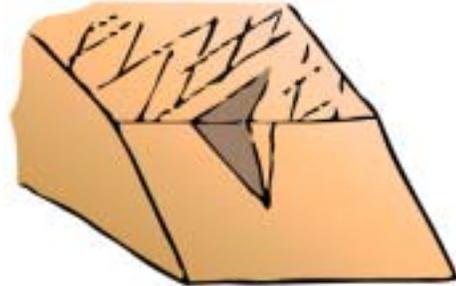


FIG. 1.14 Cuña inversa

El deslizamiento se produce a lo largo de la línea de intersección de las superficies, cuando se inclina a favor del talud y con menor pendiente que éste.

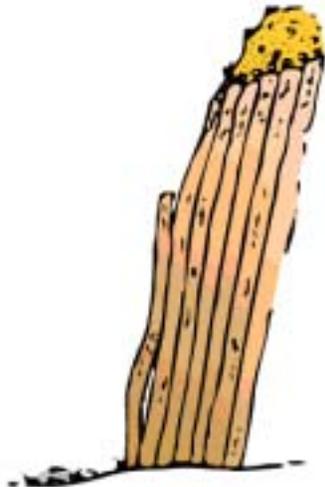


FIG. 1.15 Pandeo por flexión de placas lisas

Quando coinciden una serie de condiciones estructurales y geométricas determinadas, en un macizo rocoso, pueden aparecer deslizamientos peculiares denominados pandeos (buckling) (Fig. 1.15).

Este fenómeno aparece cuando la estratificación es subvertical y existe gran diferencia, entre al menos dos de las tres dimensiones que definen geoméricamente la estructura. Si existe una serie de diaclasas pseudo ortogonales a la estratificación, pueden producirse pandeos por flexión de placas fracturadas (Fig. 1.16 y 1.17).



FIG. 1.16 Pandeo por flexión de placas fracturadas

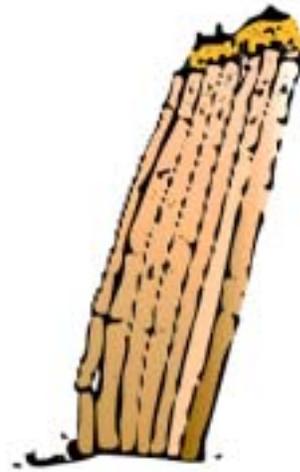


FIG. 1.17 Pandeo por flexión de placas fracturadas

Generalmente en los deslizamientos de tipo traslacional el movimiento se produce de forma rápida.

d) Extensiones laterales

Estos movimientos no son frecuentes, si bien aparecen cuando concurren determinadas características geológicas complejas.

El movimiento consiste en una extensión lateral controlada por superficies de corte y/o fracturas de tensión. Pueden aparecer sobre macizos rocosos con diferente competencia (Fig. 1.18) o bien sobre materiales con carácter de suelo (Fig. 1.19).



FIG. 1.18 Extensión lateral en roca

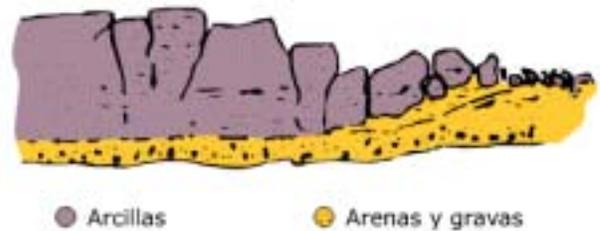


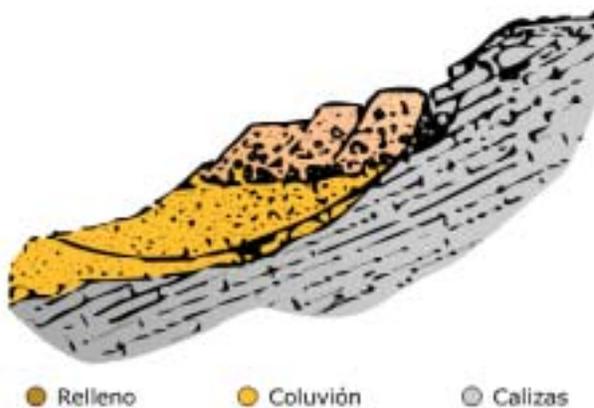
FIG. 1.19 Extensión lateral en suelos

El mecanismo de rotura suele ser complejo, pudiendo comprender formas de traslación, rotación, flujo y licuación del material. Cuando estos mecanismos se producen en medios rocosos se desarrollan con lentitud; por el contrario, en materiales de tipo suelo son rápidos o muy rápidos, iniciándose súbitamente.

Con carácter genérico pueden subdividirse en dos tipos:

- Movimientos que comprenden una extensión, sin que se reconozca o exista una superficie basal neta de corte o se produzca un flujo plástico. Son propios de crestas modeladas en medios rocosos estratificados.
- Movimientos que pueden comprender una extensión y fracturación del material más competente (roca o suelo), debido a una licuación o flujo plástico del material subyacente. Simultáneamente en los materiales superiores pueden producirse fenómenos de subsidencia, traslación, rotación e incluso licuación y flujo, dependiendo de la naturaleza intrínseca del material.

e) Movimientos complejos



Son el resultado de la combinación de más de un tipo de los diferentes movimientos descritos anteriormente. En las Figuras 1.20, 1.21 y 1.22 se muestran algunos ejemplos. También se consideran como tales aquellos que presentan diferentes estados en el desarrollo de los movimientos.

FIG. 1.20 Deslizamiento rotacional y traslacional

Se puede incluir la combinación múltiple de un mismo tipo de rotura y también aquellos movimientos en que la distribución interna de las velocidades de la masa que desliza, pueda o no asemejarse a un fluido viscoso (Fig. 1.21)

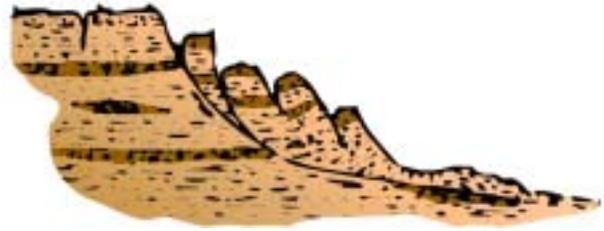
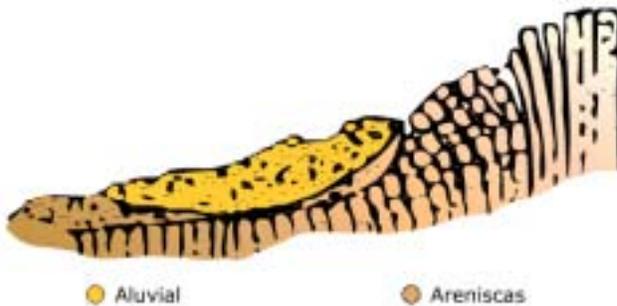


FIG.1.21 Deslizamiento traslacional y colada de barro



Consecuentemente las diferentes velocidades con que se producen estos movimientos, así como su distribución espacial, viene condicionada por los tipos de movimientos que componen la rotura (Fig. 1.22)

FIG. 1.22 Deslizamiento rotacional y vuelcos

1.4.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LADERAS

El que una ladera permanezca estable o sufra un deslizamiento depende de la unión de varios factores, entre los que están:

- *Características del terreno:* Los lugares montañosos con pendientes fuertes son los que con más facilidad sufren deslizamientos, aunque en ocasiones pendientes de muy pocos grados son suficientes para originarlos si la roca está muy suelta o hay mucha agua en el subsuelo.

Tabla 5. Procesos gravitacionales que son función de las pendientes⁴

Proceso	Valor de la pendiente
Derrumbes	De 46.63% a 83.90%
Corrimientos de tierra	De 32.49% a 46.63%
Deslizamientos de bloques	De 10.51% a 32.49%
Solifluxión (corrientes de suelos)	De 5.24% a 14.05%

Condiciones climáticas: En las regiones lluviosas suele haber espesores grandes de materiales alterados por la meteorización y el nivel freático suele estar alto lo que, en conjunto, facilita mucho los deslizamientos.

- *Macizos rocosos con fallas y fracturas:* Tienen especial importancia en los desprendimientos. La mayoría de las caídas de rocas y otros materiales tiene lugar en zonas en los que el terreno tiene abundantes fracturas y se ha ido produciendo erosión en la base de sus laderas. En estos lugares cuando llueve intensamente con facilidad se pueden producir desprendimientos.
- *Erosión:* Los ríos, el mar u otros procesos van erosionando la base de las laderas y provocan gran cantidad de deslizamientos.
- *Expansividad de las arcillas:* Las arcillas tienen la propiedad de que al empaparse de agua aumentan su volumen. Esto supone que los terrenos arcillosos en climas en los que alternan periodos secos con otros húmedos se deforman y empujan taludes, rocas, carreteras, etc. provocando deslizamientos y desprendimientos.
- *Acciones antrópicas:* Los movimientos de tierras y excavaciones que se hacen para construir carreteras, ferrocarriles, edificaciones, presas, minas al aire libre, etc. rompen los perfiles de equilibrio de las laderas y facilitan desprendimientos y deslizamientos. Además normalmente se quitan los materiales que están en la base de la pendiente que es la zona más vulnerable y la que soporta mayores tensiones lo que obliga a fijar las laderas con costosos sistemas de sujeción y a estar continuamente rehaciendo las vías de comunicación en muchos lugares.

⁴ "Geología Aplicada a la Ingeniería Civil". Ruiz González. Pag 34

- Se conoce la acción de otros factores como terremotos, rocas calizas (estructuras kársticas), etc., que, en ocasiones, provocan movimientos del terreno, pero cuya importancia es comparativamente menor que los citados anteriormente

1.4.6 NORMATIVA LEGAL PERTINENTE

En República de El Salvador existen diversas normativas legales, entre las que se tienen leyes, normas, códigos y reglamentos que hay que tener en cuenta cuando se pretende realizar un proyecto como el propuesto en el presente trabajo. Entre los que se considera que tienen mayor incidencia en el proyecto, se encuentran los siguientes:

- Ley del Medio Ambiente
- Reglamento del Medio Ambiente
- Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes
- Ley Forestal
- Código Municipal
- Código de Salud

Dichas normativas son las que se considera de mayor importancia, ya que en estas se aborda lo referente a la temática ambiental, a los criterios de ingeniería civil que son necesarios para la construcción de obras de protección, así como lo concerniente a la seguridad ciudadana.

CAPITULO II DIAGNOSTICO DEL PROYECTO

2.0 INTRODUCCION

En este capítulo se presentan las condiciones actuales en las que se encuentra la ladera del Cerro Santa Lucía contigua a la Colonia Altos de Santa Lucía. Se describirá la topografía de la zona, condiciones hidrológicas e hidráulicas, cobertura vegetal y vulnerabilidad debido a que es una zona habitada. En este capítulo se presenta el resultado de los reconocimientos generales realizados mediante la observación de la topografía de la zona, evidencias de deslizamientos y todo dato de campo necesario para la investigación y que no requiera de la realización de una campaña de estudio de suelos. Una vez descritos los anteriores factores se podrá establecer la necesidad de realizar un estudio de detalle de la zona.

2.1 CARACTERISTICAS TOPOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta parte del diagnóstico se establecerán las condiciones topográficas actuales de las terrazas que fueron conformadas en la zona de estudio. Se muestra una comparación entre la topografía antes de los trabajos terraceros y después de ellos. Esto es posible debido a que se realizó un trabajo de campo consistente en la nivelación del área donde existe la mayor erosión de las terrazas conformadas y que por esta razón se convierte en el área que compete al presente estudio.

- **Área de estudio**

El área de estudio se ubica en el Cerro Santa Lucía, Ciudad de Santa Ana, El Salvador, se trata de una superficie aproximadamente de 18,386.49 m² (2.63 Mz) que se desarrolla a lo largo de la parte superior de la Colonia Altos de Santa Lucía. Los accesos a la zona son: al este la Calle José Mariano Méndez Pte.; al sur no posee acceso; al norte con la Avenida Contexa; al oeste no posee acceso.

El área de estudio comprende las siguientes coordenadas geodésicas: entre las Latitudes 318811.11 Latitud Norte a 319004.20 Latitud Norte y entre las Longitudes: 438411.17 Longitud Este a 438509.83 Longitud Este (ver figura 2.1).



Figura 2.1: Esquema de ubicación área de estudio

2.1.1 Topografía de la zona

El terreno actualmente presenta irregularidades, que son el resultado de los trabajos de terracería que se efectuaron en la zona. Se forman elevaciones de material que fue removido durante los trabajos y que con el tiempo se ha ido acumulando en montículos de material suelto, por lo que son muy susceptibles a sufrir deslizamiento. Esto indica que en el área delimitada existe poca evidencia de la topografía natural de la ladera del Cerro Santa Lucía que se está analizando.

2.1.2 Pendientes promedio de las laderas

Las pendientes que se obtuvieron en el terreno son las siguientes y se ubican según la figura 2.2. En las tablas 2.1 y 2.2 se muestran las pendientes promedio de terreno en su configuración natural y después de la terracería. En el anexo 2 se muestran los perfiles en las condiciones naturales y actuales.

Tabla 2.1. Pendientes promedio de la configuración natural del terreno

Perfil	Elevaciones base	Distancia	Rumbo	Pendiente
A	701.667 – 683.649	104.06	N 12° 54.28' E	17.31 %
B	686.287 – 670.217	98.02	N 13° 44.57' E	16.39 %
C	679.298 – 671.042	32.34	N 61° 05.28' E	25.53 %
D	694.209 – 677.234	49.83	N 70° 04.43' E	34.06 %
E	692.628 – 669.059	92.82	N 33° 08.16' E	25.40 %

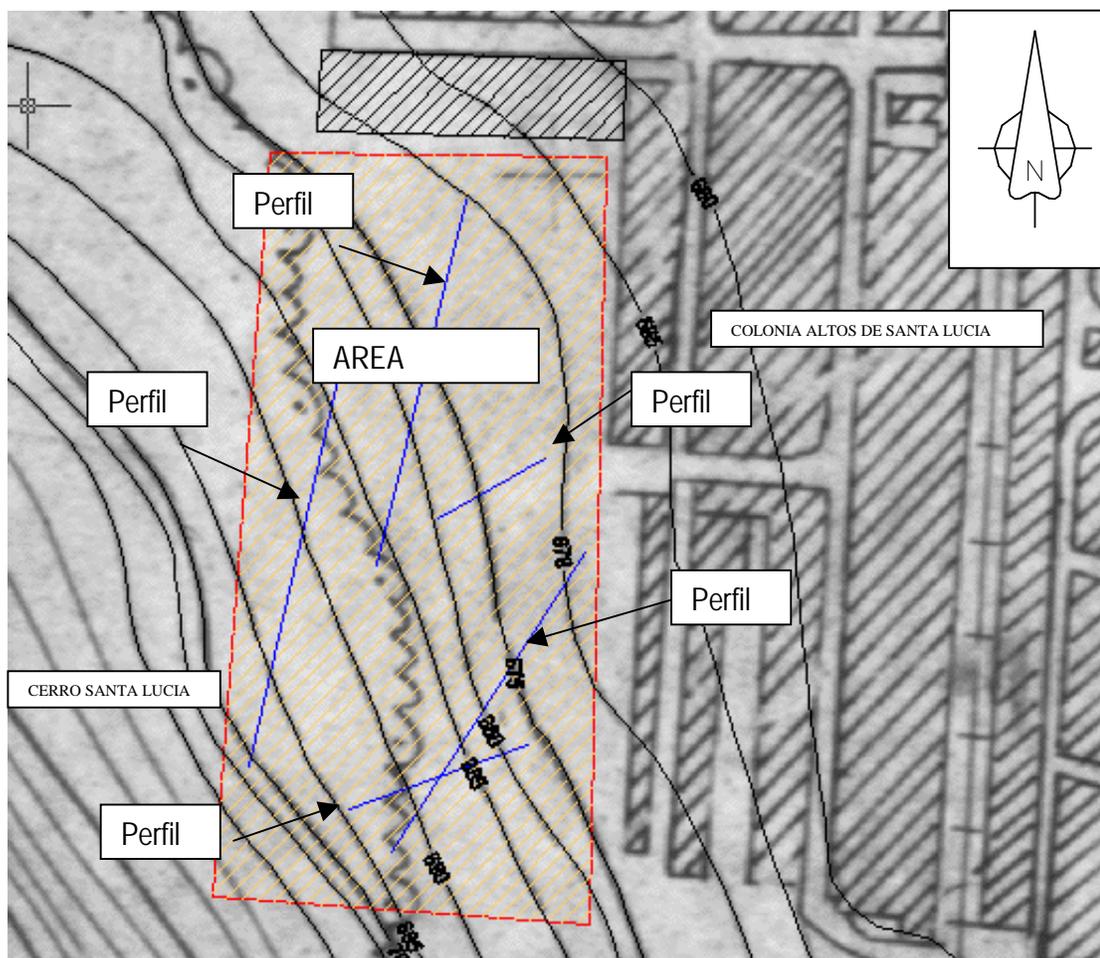


Figura 2.2: Ubicación de las pendientes en el plano topográfico

Tabla 2.2. Pendientes promedio de la configuración actual del terreno

Perfil	Elevaciones base	Distancia	Rumbo	Pendiente
A	699.884 – 677.410	104.06	N 12° 54.28' E	21.60 %
B	684.517 – 665.284	98.02	N 13° 44.57' E	19.60 %
C	680.581 – 668.512	32.34	N 61° 05.28' E	37.32 %
D	695.143 – 675.814	49.83	N 70° 04.43' E	38.79 %
E	693.071 – 669.384	92.82	N 33° 08.16' E	25.52 %

De acuerdo a los datos de pendientes obtenidos, se puede observar que en algunos sectores de la zona de interés existe la posibilidad de ocurrencia de corrimientos de tierra, lo cual pone en peligro la seguridad de la población que habita en la colonia Altos de Santa Lucia (ver tabla 1.3). En el anexo 2 se presentan los perfiles correspondientes.

2.1.3 Descripción de las terrazas

En las terrazas que fueron conformadas, el material constituyente de éstas se encuentra en condiciones de desgaste causados por el viento, lluvia y por la escorrentía superficial de la parte más alta del Cerro Santa Lucia. A continuación se muestran fotografías de las terrazas más significativas y cuyas condiciones son las mismas que las terrazas más pequeñas. El criterio utilizado para escoger que las terrazas a describir son:

- a) *Material constituyente:* Aunque el área de estudio es relativamente pequeña, el tipo de suelo existente varía de una dirección a otra, por lo que describen las terrazas donde se observó cambio superficial de material.
- b) *Altura:* Es importante debido a la inestabilidad del material constituyente de los taludes de las terrazas.
- c) *Angulo del talud de la terraza:* No es el único factor que influye en la inestabilidad, pero es uno de los más importantes

Terraza 1

En esta terraza (ver figura 2.3) se observa un claro predominio de material arcilloso, con ligeras intercalaciones de tobas y material limoso. La corona del talud se encuentra a una altura de 5 metros, y su ángulo de inclinación es de aproximadamente 41.13° . La terraza se encuentra en su mayor parte, desprovista de cobertura vegetal, por lo que se encuentra susceptible a ser erosionada por los agentes climatológicos.

Terraza 2

El talud de esta terraza (ver figura 2.4) posee una altura de aproximadamente 1.32 m y un ángulo de inclinación de prácticamente 90°. Está formada principalmente por material limoso, aunque también se encuentra material arcilloso en cantidades importantes. La terraza se encuentra bastante deforestada, lo que ha propiciado que en ella existan numerosas cárcavas que son producto de la escorrentía superficial que se presenta en la zona. La altura que presenta no es la indicada para construir por lo que se puede afirmar que ha sido desgastada por la lluvia y la escorrentía superficial .

Figura 2.3: Terraza 1





Figura 2.4: Terraza 2



Figura 2.5: Terraza 3

Terraza 3

Posee una altura de 3.50 metros y un ángulo de casi 90° (ver figura 2.5). Conformado esencialmente por material pomicítico que tiene como ligante material limoso. Se observó que el material constituyente posee un grado de meteorización bastante considerable, ya que el estrato se disgregaba al ser impactado por un martillo geológico. Además dado las características del material, el proceso de infiltración se ve favorecido.

2.2 DESARROLLO URBANO

Durante las últimas décadas, la ciudad de Santa Ana ha experimentado un aumento considerable en su población, lo que ha generado un alto desarrollo urbano en dicha zona. Algunas de las áreas que anteriormente eran consideradas como rurales, poco a poco han ido creciendo, a tal punto que actualmente se consideran como parte de lo que constituye el área urbana.

2.2.1 Índice de crecimiento poblacional

Durante las últimas décadas del siglo anterior, la población del departamento de Santa Ana se ha incrementado a razón de 2,088 personas por año, lo que trae como consecuencia que la población se halla prácticamente triplicado. Sin embargo hay que notar que la composición de hombres y mujeres se ha mantenido similar.⁵

Pese a que actualmente la tasa de crecimiento poblacional tiende a ir en descenso⁶, el aumento poblacional que se presentó en las décadas de 1960 y 1970 fue tal que se propició el inicio de un desarrollo poblacional desordenado, en el que las necesidades habitacionales se impusieron ante otros factores tales como la conservación y protección de los recursos naturales.

⁵ Plan Maestro de Desarrollo Urbano de Santa Ana. Pág. 32. Julio del 98

⁶ Plan Maestro de Desarrollo Urbano de Santa Ana. Pág. 7

Tabla 2.3. Población urbana del departamento de Santa Ana por sexo según municipios

Municipios	1950			1992		
	Total	Masc.	Fem.	Total	Masc.	Fem.
Total Departamento	74,181	34,450	39,731	205,214	96,937	108,277
Santa Ana	51,702	23,756	27,946	139,389	65,488	73,901
El Congo	2,387	1,155	1,232	7,047	3,395	3,652
Coatepeque	1,842	815	1,027	4,568	2,163	2,405
Texistepeque	1,096	510	586	2,010	930	1,080
Chalchuapa	9,855	4,618	5,237	25,545	12,121	13,424
Candelaria de la Frontera	1,458	734	724	4,986	2,418	2,568
San Sebastián Salitrillo	425	193	232	995	495	500
El Porvenir	293	155	138	965	466	499
Metapán	2,811	1,363	1,448	15,148	7,232	7,916
Santiago de la Frontera	674	327	347	1,443	731	712
Masahuat	128	69	59	506	260	246
Santa Rosa Guachipilín	282	145	137	939	474	465
San Antonio Pajonal	1,228	610	618	1,673	764	909

Fuente: DIGESTYC. Censos de población de 1950 y 1992

Dicho comportamiento se ha mantenido hasta la fecha, como lo muestra el caso de la colonia Altos de Santa Lucía, ya que la colonia fue construida el pie de la ladera del Cerro del mismo nombre, lo que modificó las condiciones naturales de la zona.⁷

2.2.2 Numero de familias afectadas

En la colonia afectada se encuentran un total de 49 viviendas que colindan con el Cerro Santa Lucía, y que por lo tanto están expuestas al posible riesgo por deslizamiento de suelo que se pudiese producirse en el cerro. Las 37 primeras viviendas se encuentran en la dirección norte – sur en el block “D”, en cuanto a las 12 restantes se encuentran en la dirección este – oeste en el block “O”. Entre estas se suman un total de 265 personas.

⁷ Plan Maestro de Desarrollo Urbano de Santa Ana. Pág. 9

2.2.3 Condiciones socioeconómicas

Los habitantes afectados por el posible riesgo a deslizamiento son personas de clase media baja, cuyos ingresos son en promedio un 50 % arriba del salario mínimo establecido por la ley. Los habitantes de la Colonia Altos de Santa Lucía se encuentran organizados en una directiva comunitaria con su respectivo presidente, vicepresidente, secretario, sindico, por consiguiente poseen personería jurídica.

2.3 LITOLOGIA DEL LUGAR

El Cerro Santa Lucía, se encuentra ubicado en el costado Oeste de la ciudad de Santa Ana, con una elevación máxima de 799.26 metros sobre el nivel del mar; las comunidades más próximas son: Residencial Contexa y Residencial Altos de Santa Lucía. En el Cerro Santa Lucía, al igual que la mayor parte de la ciudad de Santa Ana, se encuentra la presencia de dos formaciones: *La formación de San Salvador y la formación del Bálsamo*, predominando en el Cerro Santa Lucía la segunda (ver figura 2.6).

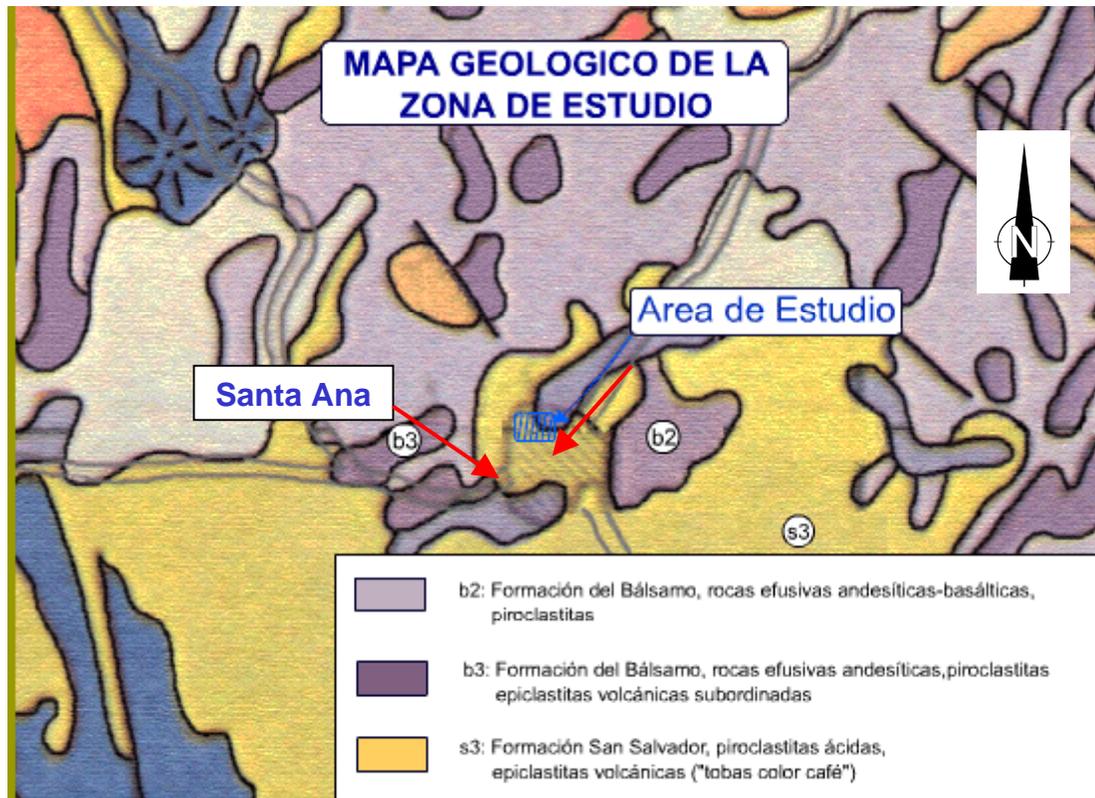


Figura 2.6: Mapa geológico área de estudio

Fuente: Mapa Geológico de la Republica de El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Dichas formaciones pertenecen al Holoceno – Pleistoceno y al Plioceno respectivamente. A continuación se describirán las características de cada una de ellas:

a) Formación de San Salvador

El período de ésta formación se encuentra entre 5 300 000 y 1 600 000 años (ver tabla 2.4). Se encuentran en la cadena volcánica joven que atraviesa la parte sur del país y están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, que se encuentran a veces con intercalaciones de sedimentos lacustres. El espesor de los estratos y la sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles color café y negro.

Tabla 2.4. Edades geológicas

Epoca	Tiempo Aprox. (años)
Holoceno	10 000
Pleistoceno	1 600 000
Plioceno	5 300 000
Mioceno	23 700 000
Oligoceno	36 600 000
Eoceno	57 800 000
Paleoceno	65 000 000

Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya

b) Formación del Bálsamo

La formación del Bálsamo, es una formación relativamente joven, ya que su formación oscila entre los 1 600 000 y los 10 000 años de edad (ver tabla 2.4). El Bálsamo esta formada por materiales de edad mio-pliocénica compuestos por productos volcánicos de carácter básico en los cuales abundan los aglomerados con intercalaciones de tobas volcánicas endurecidas y corrientes de lava basáltica-andesítica con un espesor aproximado de 500 m. También hay suelos fósiles de color rojo de gran profundidad (hasta 20 m). Además se encuentran rocas extrusivas con pocas intercalaciones de tobas volcánicas y aglomerados; la parte inferior es de carácter andesítico y en la parte superior, basáltico. Hay algunos afloramientos más ácidos (hasta riolíticos) sobre todo en el este del país. El espesor

aproximado de estos últimos es mayor de 1000 m. Además se encuentran rocas piroclásticas y epiclastitas volcánicas subordinadas. Debido a la densa vegetación puede encontrarse una capa superficial de suelo orgánico de espesor variable, no mayor de 50 cm, los estratos inmediatos inferiores están constituidos por arcillas rojizas de alta plasticidad con intercalaciones de suelos arenosos pomicíticos no plásticos, que al estar desprotegidos de su cobertura vegetal son altamente susceptibles a la erosión y saturación de agua.

2.3.1 Tipo de suelo existente

Zonificación de materiales existentes en el área de estudio

Zona A

En la zona A (ver Fig. 2.7), se observaron estructuras en forma de bloques, de color rojizo, que en ciertos casos podían llegar hasta el café oscuro. Dichas coloraciones, son producto de la presencia de minerales de hierro que presentan distintos grados de oxidación. Además, en algunos puntos, se presentaban intercalaciones de tobas.

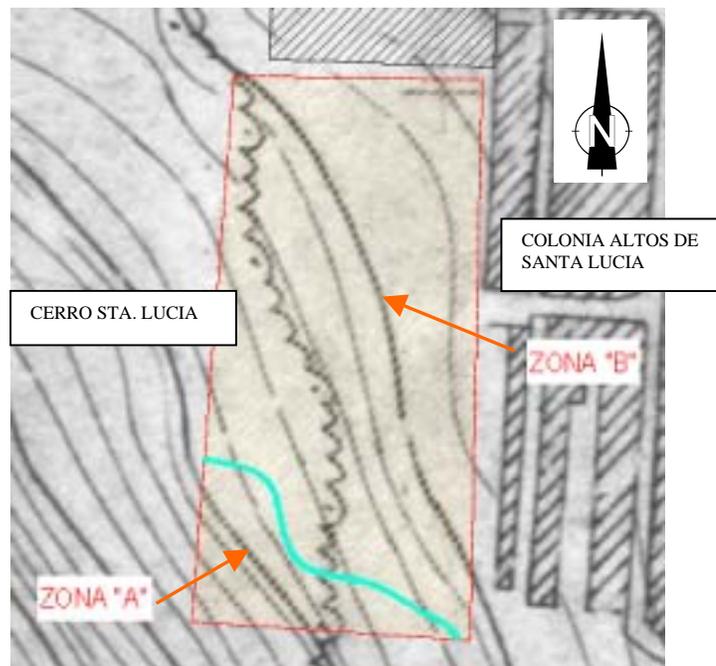


Figura 2.7: Zonificación de material existente en la zona

En otros sitios, se encuentran al descubierto estratos inferiores, que actualmente se pueden apreciar debido a las actividades de terracería que se realizaron en la zona y la deforestación que se presenta en ciertos sectores. Otro factor muy importante a recalcar, es el hecho que bajo la acción de las lluvias, el suelo presentó un notable aumento en su plasticidad (ver figura 2.8).



Figura 2.8: Corte donde se puede observar la litología existente en la zona A

Zona B

En la zona B (ver Fig. 2..9), se encuentra un pozo de absorción a cielo abierto, en éste se apreció que existe un estrato de material pomicítico con material limoso como ligante. Hay que notar que presenta cierto grado de erosión debido a la acción de la escorrentía superficial que se desplaza por esa zona durante las lluvias.



Figura 2.9: Pozo de absorción donde se puede observar la litología superficial en la zona B (material pomicítico de color blanco)

2.4 CONDICIONES HIDROLÓGICAS

2.4.1 Parámetros físicos de la Cuenca Ceniza

Para nuestra área de estudio se realizó un estudio hidrológico de una zona específica donde no existía quebrada, por lo que se obtuvo el caudal que drena por el área considerando condiciones climatológicas máximas para el tipo de obra de ingeniería que se pretende diseñar en el presente trabajo de graduación. En la tabla 2.5 se muestran los resultados obtenidos del estudio hidrológico y de la evaluación del drenaje existente.

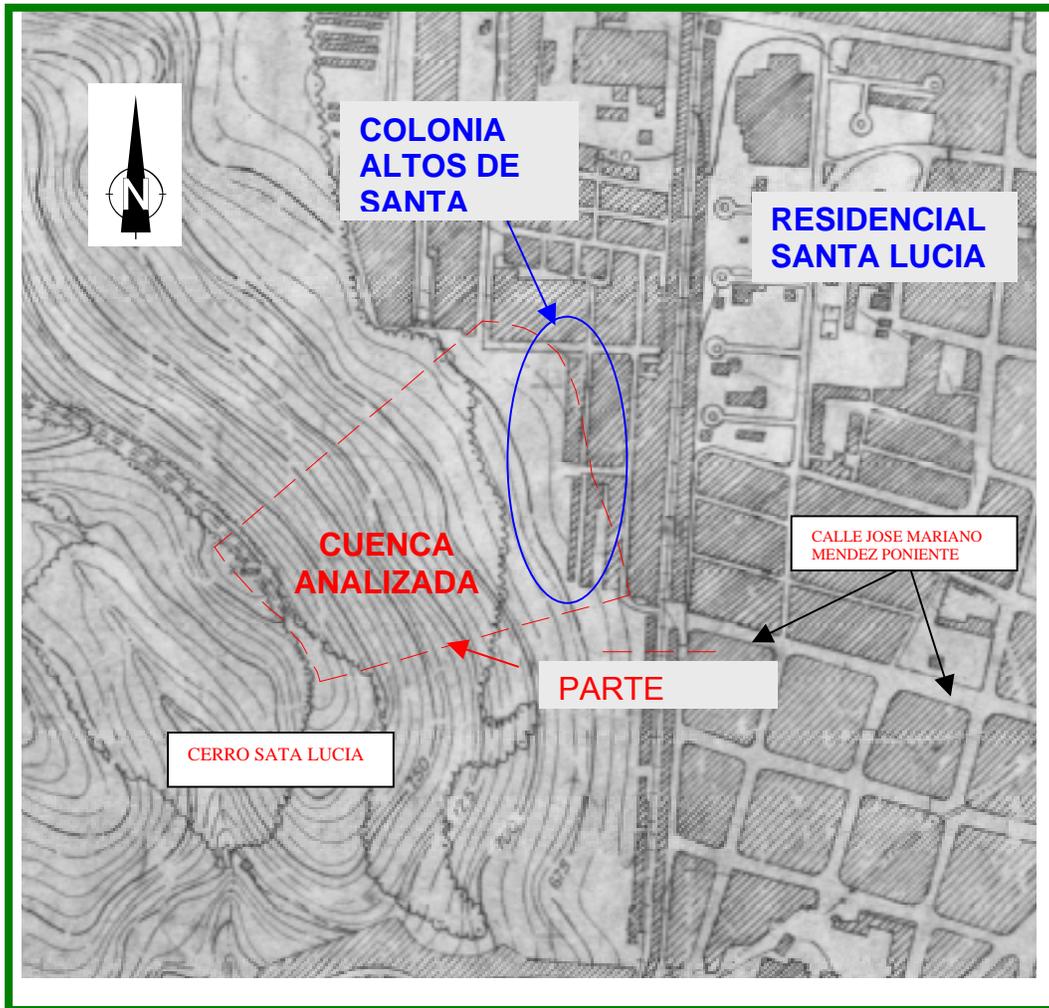


Figura 2.10: Ubicación de la cuenca analizada para la evaluación del drenaje pluvial existente

FUENTE: TESIS, MÉTODO PARAMETRICO PARA EL ANÁLISIS DE PEQUEÑAS CUENCAS EN EL SALVADOR AUTOR: CHÁVEZ DIÓGENES. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

2.4.2 Memoria de cálculo estudio hidrológico

Coeficiente de escorrentía:

- Datos de Entrada:
 - Cobertura del terreno: Cultivos
 - Tipo de Suelo: Permeable
- Del Nomograma para el Calculo del Coeficiente de Escorrentía (Anexo 3) se obtiene: $c = 0.27$

Intensidad de diseño:

- Se seleccionó un Tiempo de Retorno igual a 50 años, debido al tipo de obra a diseñar (Obras de Protección) se eligió el mayor tiempo disponible.
- Tiempo de Concentración igual a 5 minutos. Este tiempo, fue el que proporcionaba la intensidad mas desfavorable, es decir la máxima intensidad.
- Del gráfico de Intensidad Duración y Frecuencia del anexo 4 Y 5, se obtiene una Intensidad (I) igual a 4.2 mm / min.

Caudal de diseño:

- Método Formula Racional: $Q = CIA$
- Datos de entrada:
 - $A = 71,991.28 \text{ m}^2$
 - $I = 4.2 \text{ mm / min} = 7.0 \times 10^{-5} \text{ m / seg}$
 - $C = 0.27$
- Caudal de Diseño:
 - $Q = 1.36 \text{ m}^3 / \text{seg} = 1,360.00 \text{ lts / seg}$

FUENTE: TESIS, ANÁLISIS DE INTENSIDADES MÁXIMAS ANUALES DE LLUVIA EN EL SALVADOR. AUTOR: PERLA ARGUETA. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA 1990

Calculo del diámetro necesario para desalojar el caudal:

- Ecuación de Maninng:

$$Q = 1 / n R_H^{2/3} S^{1/2} A_H$$

- Ecuación de Maninng Modificada:

$$\text{Diámetro en pulgadas} = \frac{4.49 Q n^{0.75}}{\pi \sqrt{S}} \times 39.4$$

- Datos de entrada:

Coeficiente "n" de Maninng para tubería de concreto = 0.013

Pendiente de la tubería analizada = 2 %

- Diámetro necesario de tubería: 27.97 plg.

Tabla 2.5. Resultados de estudio hidrológico sobre Cuenca analizada

Parámetros físicos de la cuenca	
Coordenadas Geodésicas	Longitud: 438369.31
	Latitud: 319055.31
Cobertura del Terreno	Cultivos
Tipo de Suelo	Semipermeable
Orientación	Este - Oeste
Area de la Cuenca	71,991.52 mts.
Perímetro de la Cuenca	1,077.52 mts.
Elevación Máxima (m.s.n.m):	809.00 m.s.n.m.
Elevación Mínima (m.s.n.m):	672.00 m.s.n.m.
Elevación Media	137.00 m.s.n.m.
Pendiente Media	41.37 %
Coeficiente de escorrentía determinado:	0.27
Intensidad de diseño	4.2 mm / min
Tiempo de Retorno Seleccionado	50 años
Tempo de Concentración	5.0 min
Caudal	1,360.00 lts / seg
Coeficiente "n" de Manning:	0.01300
Pendiente de la Tubería	2.00 %
Diámetro de Tubería Existente	18.00 plg.
Diámetro Necesario para Desaguar	27.97 plg.

FUENTE: TESIS, ANÁLISIS DE INTENSIDADES MÁXIMAS ANUALES DE LLUVIA EN EL SALVADOR. AUTOR: PERLA ARGUETA. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA 1990

2.4.3 Coeficiente de infiltración

Para la determinación del coeficiente de infiltración se realizaron pruebas de precolación en puntos donde se observó cambio de material. La ubicación donde se realizaron las pruebas corresponden a la zonificación determinada en la sección 2.3.1.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PERCOLACIÓN

SONDEO # 1:

LUGAR:	Finca Santa Lucía
TIPO DE SUELO:	Material de relleno (pómez, arena, ripio)
DIMENSIONES DEL AGUJERO:	30 x 30 x 30 cms.
PROFUNDIDAD:	Superficial
COTA DE AGUA:	15.00 cms.
TIEMPO DE INFILTRACIÓN:	18 min.
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:	3.00 plg / min ó 1.20 min / plg

SONDEO # 2:

LUGAR:	Finca Santa Lucía
TIPO DE SUELO:	Arcilla Orgánica de Baja Plasticidad
DIMENSIONES DEL AGUJERO:	30 x 30 x 30 cms.
PROFUNDIDAD:	1.00 mts.
COTA DE AGUA:	15.00 cms.
TIEMPO DE INFILTRACIÓN:	10 min. con 45 seg.
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:	1.39 plg / min ó 1.79 min / plg

SONDEO # 3:

LUGAR:	Altos de Santa Lucía
TIPO DE SUELO:	Arcilla con Escoria Rojiza de Alta Plasticidad
DIMENSIONES DEL AGUJERO:	32 x 57.5 x 15 cms.
PROFUNDIDAD:	Superficial
COTA DE AGUA:	15.00 cms.
TIEMPO DE INFILTRACIÓN:	30 min.
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:	0.20 plg / min ó 5.00 min / plg

SONDEO # 4:

LUGAR:	Altos de Santa Lucía
TIPO DE SUELO:	Pómez
DIMENSIONES DEL AGUJERO:	30 x 30 x 30 cms.
PROFUNDIDAD:	Superficial
COTA DE AGUA:	15.00 cms.
TIEMPO DE INFILTRACIÓN:	1 min. con 45 seg.
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:	3.43 plg / min ó 0.29 min / plg

2.4.4 Obras de drenaje existentes

Por medio de inspecciones de campo realizadas en la zona de interés, se observó la existencia de distintas obras de drenaje, que tienen como propósito drenar la escorrentía superficial proveniente del Cerro Santa Lucía durante la época lluviosa. Entre estas tenemos las siguientes: pozos, canaletas conformadas en terreno natural, canaletas de mampostería y gradas disipadoras para la disminución del caudal recogido del cerro.

Ubicación de las canaletas y la condición en que se encuentran

Canaleta tipo 1

- **Ubicación y condiciones**

En la dirección norte – sur, existen sistemas de drenaje que son paralelos al pasaje N°2 del Block D, que drenan la escorrentía superficial que proviene del drenaje domiciliar (ver figura 2.11), por lo que dichas canaletas no están diseñadas para recoger la escorrentía superficial proveniente del cerro Santa Lucía.

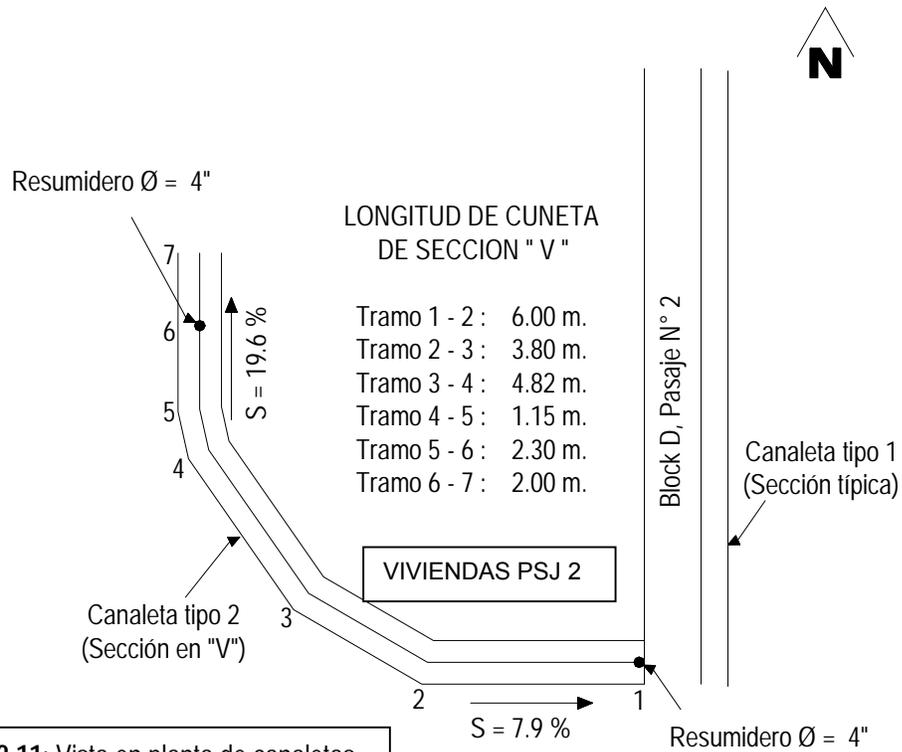


Fig. 2.11: Vista en planta de canaletas Tipo 1 y 2

Dichas canaletas, tienen una longitud de 92.75 metros y una sección transversal como la que se muestra en la figura 2.12, están hechas de mampostería de piedra, y poseen superficie pulida. Es importante mencionar el hecho que los resumideros existentes en dicha canaleta no poseen rejilla, por lo que resulta muy fácil que estos se azolven, provocando con ello un funcionamiento ineficiente de dichas obras de drenaje.

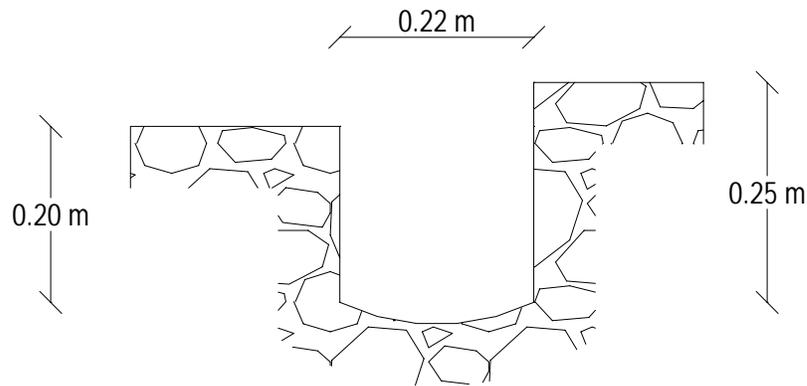


Fig. 2.12: Sección transversal de canaleta tipo 1

Canaleta tipo 2

- **Ubicación y condiciones**

Se encuentra ubicada en el sector nor – oeste de la colonia Altos de Santa Lucía, contiguo a las últimas viviendas del pasaje N°2 del Block D. Este tipo de canaleta posee una sección en “ V ” (ver Fig. 2.13), una longitud de 20.07 metros y al igual que la canaleta tipo 1 es de mampostería de piedra pulida. Posee dos resumideros de 4” de diámetro, en los puntos 1 y 6 (ver Fig. 2.11), que son los encargados de drenar la esorrentía que proviene del cerro, el diámetro que los resumideros poseen no está de acorde a las necesidades de drenaje que se presentan en la zona, por lo que no son capaces de cumplir con la función para la cual fueron diseñados. Es necesario mencionar que dichos resumideros, se encontraban azolvados y que además no poseen rejilla de protección. Otra observación que requiere cierta atención, es el hecho de que la canaleta colinda directamente con las viviendas, sin que exista ningún tipo de separación o protección entre estas.

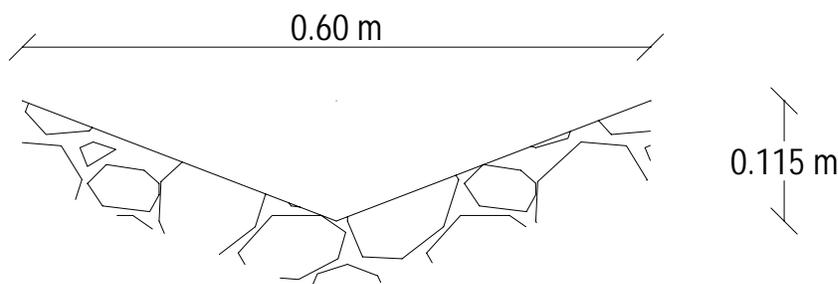


Fig. 2.13: Sección transversal de canaleta en “ V ”

Canaleta conformada sobre terreno natural tipo 1

- **Ubicación y condiciones**

Esta canaleta se encuentra paralela al pasaje N°2 del Block D, posee una sección transversal como la que se muestra en la figura 2.15, y una longitud de 37.30 metros. Se observó que la canaleta no posee ningún tipo de revestimiento, y que se encuentra parcialmente azolvada. Está canaleta colinda con las viviendas, por lo que los habitantes de éstas se encuentran en una situación de riesgo no sólo por deslizamiento de suelo, sino que además se encuentran sometidos a los daños que pudiesen producirse en sus viviendas por inundación Ver figura 2.14

Figura 2.14: Viviendas sin ningún tipo de protección

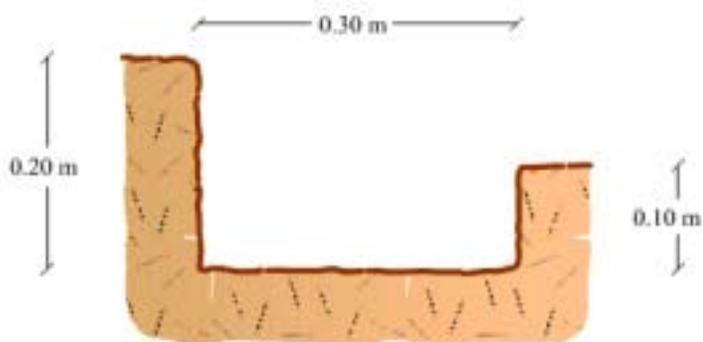


Fig. 2.15 Canaleta natural tipo 1

Canaleta conformada sobre terreno natural tipo 2

- **Ubicación y condiciones**

Esta canaleta se encuentra paralela a la canaleta conformada sobre terreno natural tipo 1, posee una sección transversal variable, sus dimensiones promedio son las mostradas en la figura 2.16 y posee una longitud de 87.5 metros. Dicha

canaleta, se inicia a los 26 metros de iniciada la anterior, y se unen a una distancia de 37.70 metros. Se observó que al igual que la canaleta anterior no posee ningún tipo de revestimiento, y que también se encuentra parcialmente azolvada. Al final de la canaleta, se encuentra construido un pozo número 1 que se encarga de recoger la escorrentía superficial que proviene del cerro.

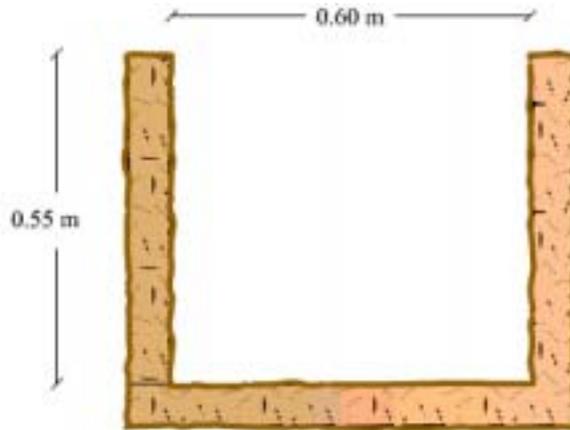


Fig. 2.16: Canaleta natural tipo 2

Canaleta conformada sobre terreno natural tipo 3

- **Ubicación y condiciones**

Esta canaleta se encuentra en el sentido este – oeste paralela al Block O, posee en promedio una sección transversal como la que se muestra en la figura 2.17, y una longitud de 22 metros. La canaleta no posee ningún tipo de revestimiento y se encuentra parcialmente azolvada.

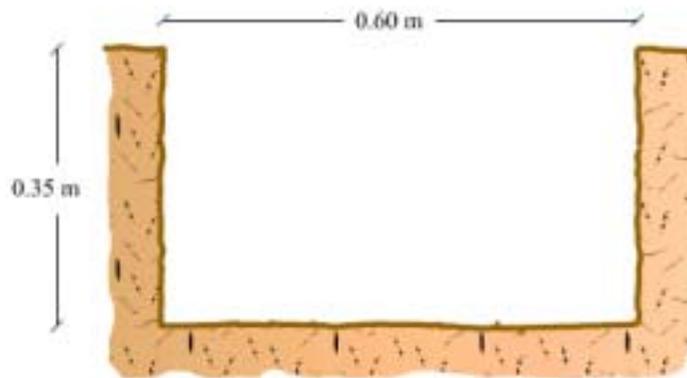


Fig. 2.17: Canaleta natural tipo 3

Pozos existentes (Drenaje Pluvial)

- **Ubicación y condiciones**

En el área de estudio se detectaron 7 pozos construidos de ladrillo de concreto de 10 x 20 x 40 cms, con profundidades que varían de 1.5 a 2.5 mts. Los pozos se encuentran en el costado oeste de las casas pertenecientes al bloque “D” (ver Fig. 2.18) con una separación entre sí de 12 a 17 mts. El diámetro de la tubería de drenaje de los pozos es de 18” y tienen las dimensiones que se muestran en el anexo 6. Los pozos se encuentran obstruidos por basura y material proveniente del cerro como hojas ver figuras 2.19 y 2.20, tierra y ramas de arbustos que han sido transportados por la lluvia. Además si estos pozos fueron construidos para drenaje como solución al problema existente están mal ubicados debido a que reciben directamente la escorrentía del Cerro Santa Lucia y sumado a esto no poseen ninguna medida para evitar su obstrucción.

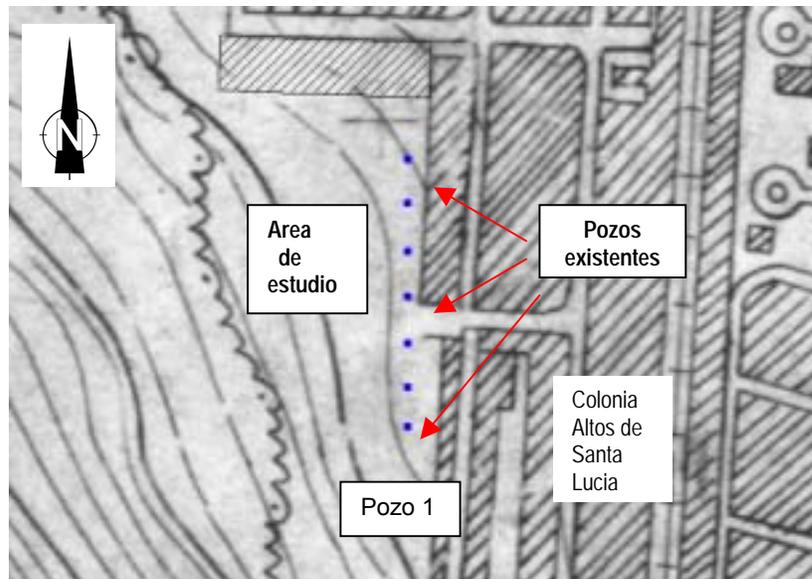


Figura 2.18: Ubicación de pozos existentes en la zona de estudio



Figura 2.19: Pozo tipo 1 obstruido por basura y material arrastrado desde el Cerro



Figura 2.20: Pozo tipo 2 sin ninguna protección contra materiales de arrastre

2.5 COBERTURA VEGETAL

A continuación se presenta un resumen del tipo de cobertura vegetal existente en el Cerro Santa Lucía, así como una descripción de las especies. El tipo de flora que se tiene en la zona de estudio es resultado de un estudio titulado “Estudio Preliminar de la Vegetación Arbórea de la Ladera Sureste del Cerro Santa Lucía en el Municipio de Santa Ana, Departamento de Santa Ana”, realizado por Barrientos Martínez, Cruz Alvarado y Velásquez Martínez para optar al grado de Licenciado en Biología. Además se describirá la cobertura vegetal detectada durante las visitas a campo realizadas.

2.5.1 Tipo de flora existente en la zona

Zonas de vegetación

Las condiciones naturales de la vegetación de la zona también se han visto afectadas, lo que ha repercutido en los procesos de erosión del cerro. En el área de estudio, parte de la vegetación ha sido modificada, por lo que ciertas áreas de la superficie se encuentran desprovistas de la cubierta natural que existía en el entorno, quedando por ende expuesta a los agentes atmosféricos, cuyos efectos suelen ser muchos mayores. Como lo es el caso de la escorrentía superficial, que gracias a la ausencia de dicha vegetación ha logrado erosionar el suelo con relativa facilidad.

a) Flora en el área deforestada

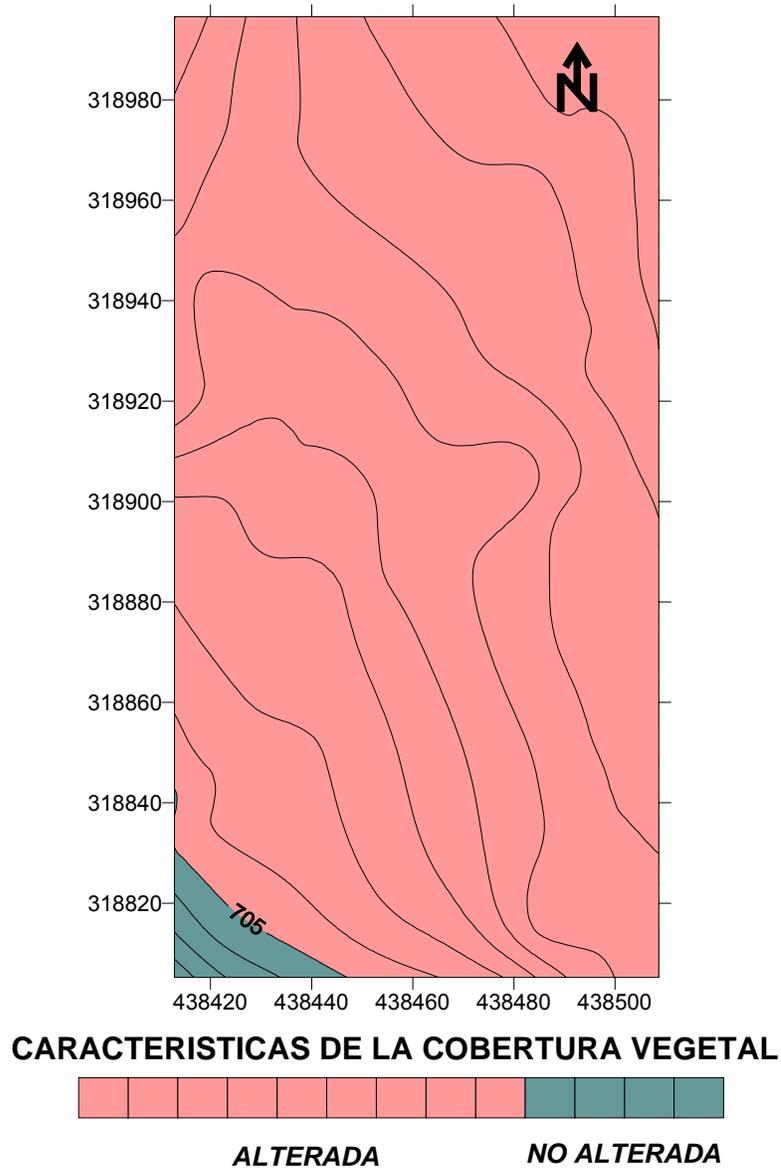
En el área de estudio la vegetación se conforma por arbustos que han crecido desde que se deforestó la ladera del Cerro Santa Lucía, además se encuentra el zacate tipo vetiver sembrado como medida de mitigación por la empresa que ejecutó la terracería. La cobertura de tipo arbórea es nula en la zona de estudio.

Antes de los trabajos terraceros la masa arbórea era abundante y de las mismas características que más adelante se describirán, esto según habitantes de la Residencial Santa Lucía.

b) Cobertura vegetal de la ladera Sureste del Cerro Santa Lucia

A partir de la cota 705 metros sobre el nivel del mar (ver Fig. 2.21) se presenta cultivo permanente de café (*coffea arábica*) junto con su masa arbórea para sombra. En ésta masa arbórea se encuentran las siguientes especies:

Figura 2.21: Zonas de vegetación del Cerro Santa Lucía



Se describirán solo 3 especies, debido a que no es el objetivo principal del presente estudio profundizar en la flora existente en la zona, además las características fisiológicas de las especies encontradas son similares.



Figura 2.22: *Cordia alliodora* (Laurel)

Laurel (*Cordia alliodora*)

• **Descripción:**

Forma. Árbol caducifolio, de 7 a 25 m (hasta 40 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 90 cm.

Copa.. Copa muy pequeña, estrecha y abierta lo cual permite el paso de mucha luz. Hojas alternas, simples; láminas de 4.5 a 17 cm de largo por 2 a 5 cm de ancho.

Tronco / Ramas. Forma un cilindro (fuste) muy recto, algunas veces con contrafuertes basales, delgados. Ramas ascendentes y extendidas, verticiladas en la parte superior.

Reforestación / Restauración. Especie con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva y en zonas secas y áridas. En la figura 2.22 se muestra una fotografía de este árbol.

Guanacaste o Nacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)

- *Descripción*

Forma. Arbol grande y llamativo de 20 a 30 m (hasta 45 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3 m.

Copa. Copa hemisférica. El follaje es abundante, dando a la amplia copa una forma más ancha que alta, puede alcanzar grandes diámetros. **Tronco / Ramas.** Tronco derecho y a veces con pequeños contrafuertes en la base. Ramas ascendentes.

Efecto(s) restaurador(es). 1. Recuperación de terrenos degradados. 2. Conservación de suelo / Control de la erosión. 3. Fijación de nitrógeno. 4. Acolchado / Cobertura de hojarasca.

Otras especies de existentes en la zona:

1. Madreado o madero negro (*Gliricidia sepium*)
2. Jovillo o ron ron (*Astronium graveolens*)
3. Pepeto (*Inga sp*)
4. Ceiba (*Ceiba petandra*)
5. Cincho (*Lonchocarpus rugosus*)
6. Guarumo (*Cecropia peltata*)
7. Suncuya o anona colorada (*Annona Reticulata*)
8. Guazimo (*Guazama ulmifolia*)
9. Cedro colorado (*Cederla odorata*)
10. Guachipilín (*Diphysa robinoides*)
11. Volador (*Platanus occidentalis*)

2.5.2 Índice De Deforestación

Este índice se encontró en base al tiempo promedio en que se deforestó la ladera para la construcción de la colonia Altos de Santa Lucia, además se consideró la relación que existe entre el área actual de la colonia, y el área inicial total que tenía la masa arbórea de la zona, también para el cálculo del índice de deforestación se tomó en cuenta la otra etapa de la colonia que se tenía proyectado construir, es decir donde se encuentran las terrazas erosionadas.

Etapa 1 (pasaje norte block D, Colonia Altos de Santa Lucia):

Tiempo promedio de ejecución y deforestación 1 Año

Area deforestada: 19353.66 m², esto equivale a un 51.28 % de área total del pie del talud que ha sido afectado por la urbanización.

Etapa 2 (proyectada sobre el área que compete a nuestro estudio): 18386.49 m², que equivale a un 48.71 % del área total del pie del talud.

Tiempo medio de ejecución y deforestación: 5 meses

Obteniendo como resultado: **84.1 % anual** como índice de deforestación en la zona de estudio.

Es importante recordar que los valores de tiempo y espacio usados para el cálculo de este índice son un promedio del tiempo en que se realizó la tala de la masa arbórea de la ladera del Cerro Santa Lucia donde se encuentra ubicada actualmente la Colonia del mismo nombre.

2.6 MODELADO DEL RELIEVE

El modelado relieve corresponde a la configuración que la superficie terrestre de una determinada región adquiere como consecuencia de los distintos factores ambientales. El modelado de relieve del Cerro Santa Lucía, al igual que el del resto del país, es principalmente producido por dos factores ambientales: *el hídrico* y *el climático*. Sin embargo hay que tomar muy en cuenta que el modelado del relieve en el Cerro Santa Lucía, además de verse modificado por factores ambientales también ha sido afectado por agentes *antrópicos*. A continuación se presenta una descripción de los distintos factores y de las modificaciones que estos han generado en la superficie de la zona en estudio.

- a) Factor hídrico: Es el factor que mayor incidencia tiene en nuestro medio. La situación geográfica en la que se encuentra El Salvador, favorece que en la época lluviosa en nuestro medio se presenten numerosas precipitaciones con altas intensidades. La acción directa de dichas precipitaciones produce la erosión del medio (ver Fig. 2.23), tal como lo es el caso del Cerro Santa Lucía. En el cerro, se puede observar que existe una erosión de magnitud considerable, ya que se encuentran numerosas cárcavas de distintas profundidades y anchos que pueden llegar hasta los 2.0 metros y hasta los 1.20 metros respectivamente. También se observó gran cantidad de material que había sido arrastrado por la escorrentía superficial hacia las partes más bajas de nuestra zona de estudio.

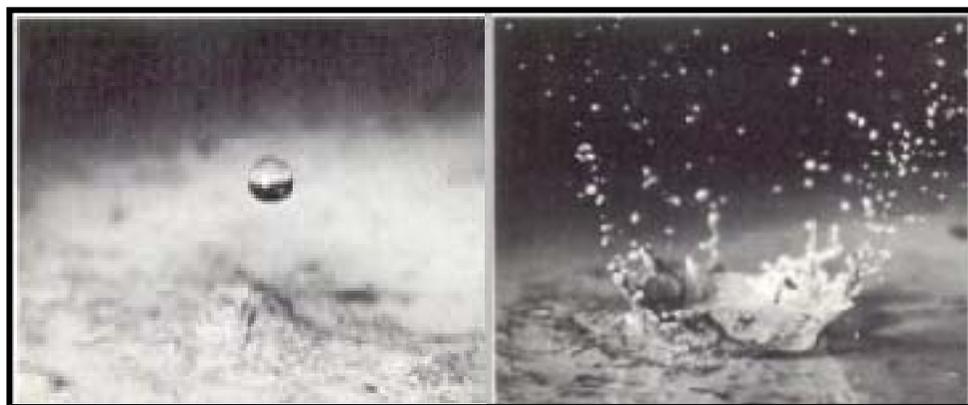


Figura 2.23: Modificación del medio debido a la acción de las precipitaciones

Fuente: Fotografía Oficial de la Marina de los Estados Unidos

- b) Factor climático: Este factor también es muy importante, ya que debido al clima tropical caliente que existe en nuestro país, en el medio se presenta un alto contenido de humedad, lo que produce una meteorización química en el medio. Esto se observa en el Cerro Santa Lucía, ya que se encuentran áreas de material rojizo, que han sufrido procesos de oxidación.
- c) Factor antrópico: Las actividades de terracería que se han realizado en el Cerro Santa Lucía, han modificado en gran medida las condiciones naturales que existían en el medio. Como consecuencia se obtienen en el cerro áreas deforestadas, lo que propicia un aumento considerable en los procesos de erosión. Se tienen cambios en las pendientes originales del terreno, lo que

favorece la infiltración en el medio, lo que también favorece acumulaciones de agua en el área de estudio, lo que aumenta la ocurrencia de los procesos de oxidación.

2.6.1 Generación Del Modelado

Como se mencionó anteriormente, el modelado del terreno depende de la acción de distintos factores ambientales, de los cuales el Cerro Santa Lucía no ha sido la excepción. A continuación se establecerá una comparación entre las condiciones topográficas de la ladera del cerro Santa Lucía antes y después de los trabajos terraceros

Para la generación del modelado de terreno, es fundamental poseer datos topográficos de la zona a una escala adecuada, dado que la calidad del modelado depende de la precisión de estos datos. Debido a esto, se realizó un levantamiento topográfico en la zona de estudio, para efecto de obtener datos que permitieran conocer las condiciones actuales del cerro. En cuanto a la configuración no modificada del terreno, se obtuvo en base a planos anteriores a una escala de 1:5000.

En vista de que se pretende establecer una comparación entre las condiciones actuales y las condiciones naturales del terreno, se generarán dos modelados.

2.6.2 MODELADO DE TERRENO

Con los datos topográficos obtenidos en campo, se procede a generar el modelado de terreno actual. El modelado del terreno no modificado, como anteriormente se mencionó, se obtuvo en base a mapas existentes en escala 1:5000.

Para que la comparación entre los dos modelados de terreno fuese concluyente, la generación de estos se realizó en base a una misma serie de coordenadas en latitud y longitud, de tal forma que estas se mantenían constantes, variando únicamente los valores de la elevación para cada uno de los modelados. A continuación se presentan los modelados obtenidos. Ver figura 2.24 y 2.25

Figura 2.24 Modelado de terreno en condiciones naturales del terreno

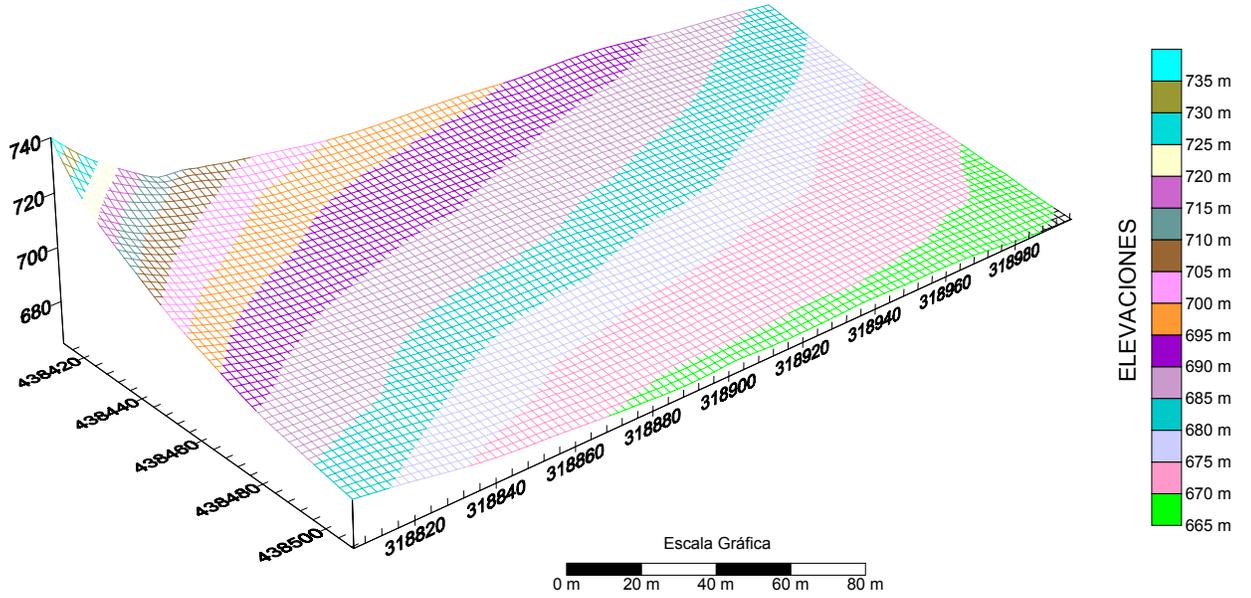
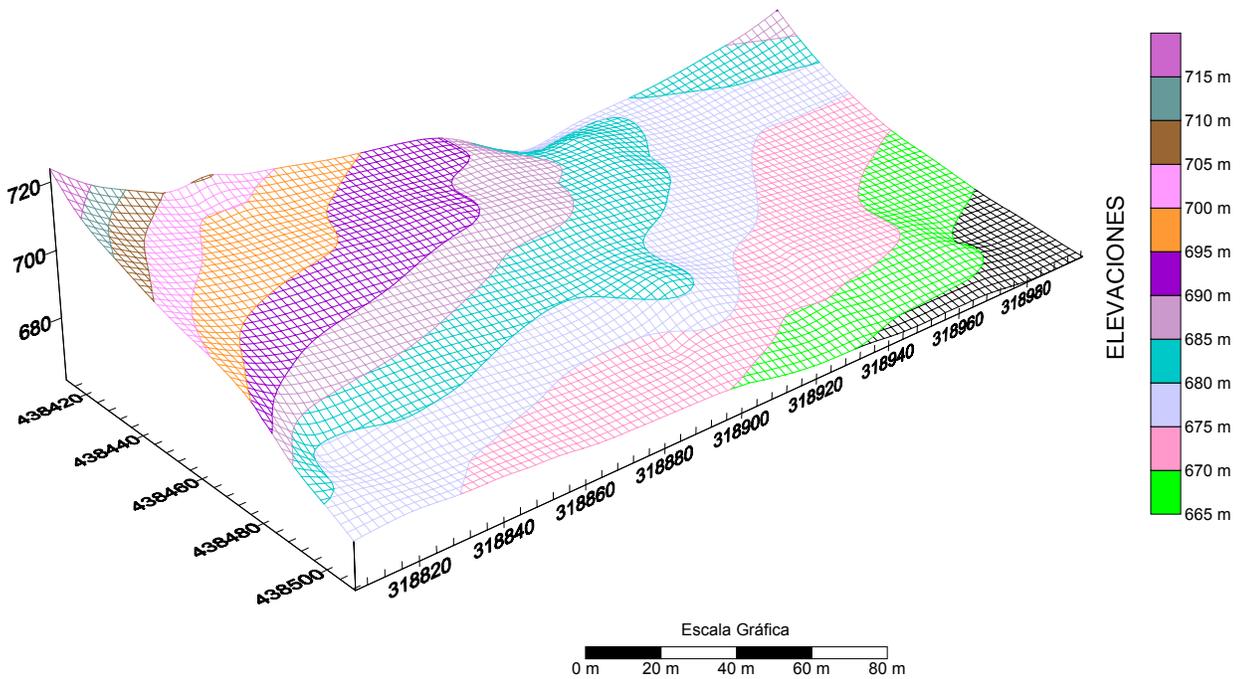


Figura 2.25: Modelado de terreno de condiciones actuales



De los modelados de terreno, se puede observar que la topografía natural del sitio ha variado significativamente, ya que pese a conservar rasgos de la configuración original, actualmente se presenta una topografía mucho más accidentada en la que se observan varias cárcavas; además se puede observar la irregularidad en la configuración del terreno producida por los trabajos de terracería. Se estima que la variación de volumen que existe entre las condiciones actuales y las condiciones naturales en que se encontraba el cerro es de aproximadamente 27701.21 m³ en un área de 18386.49 m².

Configuración vectorial del área de estudio

La configuración vectorial del terreno permite determinar el sentido en que fluye la escorrentía superficial, lo que es muy importante, ya que a partir de ésta es posible definir las zonas en que los efectos erosivos de las lluvias son más evidentes, y que por lo tanto merecen mayor atención.

Esto se aprecia en la figura 2.26 (configuración vectorial del terreno natural). En esta figura, la escorrentía superficial se desplaza uniformemente sobre la superficie del cerro, por lo que el sentido del flujo no propicia la formación de cárcavas, dado que los procesos erosivos son menores. Sin embargo, en la figura 2.27 (configuración vectorial del terreno actual), se observa que el desplazamiento de la escorrentía superficial no posee un flujo uniforme, por lo que la ocurrencia de procesos erosivos es mayor, dando origen al desgaste del suelo.

Figura 2.26: Configuración vectorial del terreno natural

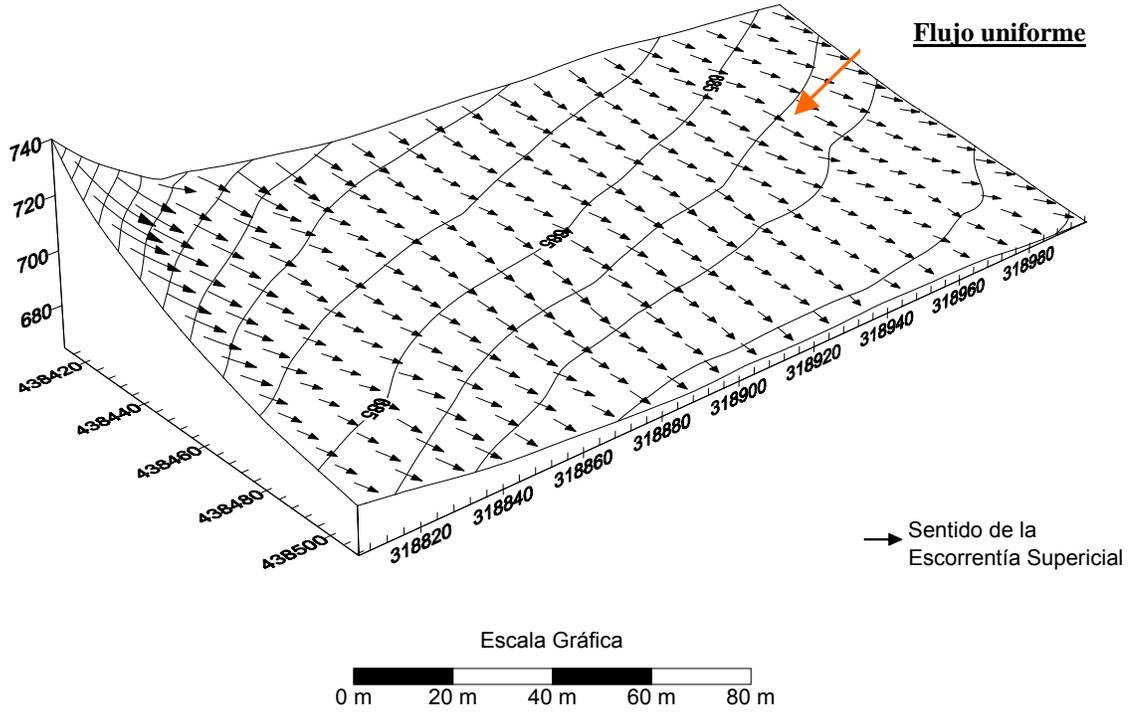
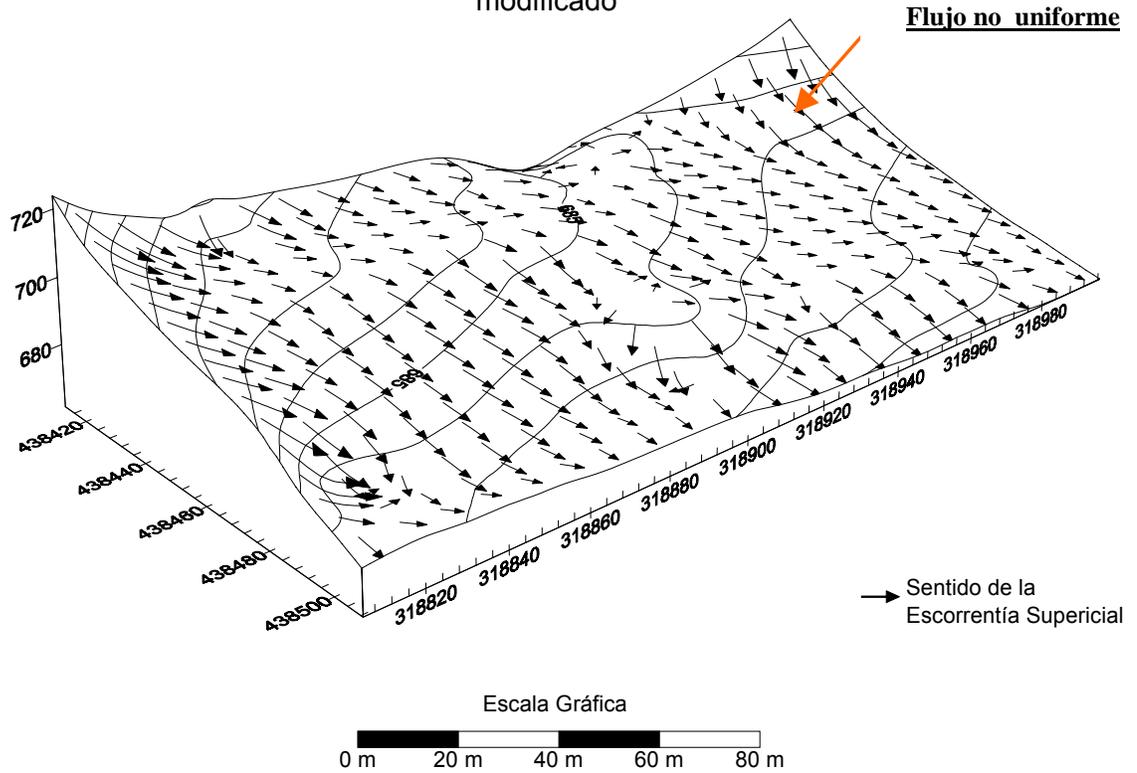


Figura 2.27: Configuración vectorial del terreno modificado



2.7 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

2.7.1 Riesgo volcánico

El riesgo volcánico que puede afectar a la Ciudad de Santa Ana y por ende al área de estudio es el provocado por el Volcán Ilimatepec que ha sido clasificado como activo debido a su morfología, historia eruptiva, actividad fumarólica y actividad sísmica. Los peligros que la erupción del mencionado volcán origina son: *flujos de lava, flujos de material piroclástico y cenizas volcánicas*. Pese a ello, en la ciudad de Santa Ana el único peligro que puede darse es el de cenizas volcánicas alcanzando espesores variables de hasta 30 cms. (ver Fig. 2.28)⁸

A continuación se detallan las zonas afectadas por los distintos riesgos volcánicos.

Las Zonas afectadas por el radio volcánico de color Rojo son:

- | | |
|--|--|
| 1. Cantón y Caserío Palo de Campana | 7. Cantón Ochupse Abajo |
| 2. Cantón y Caserío Buenos Aires | 8. Cantón Ochupse Arriba |
| 3. Cantón Potrero Grande Arriba | 9. Cantón Calzontes Abajo |
| 4. Cerro Verde | 12. Cantón Calzontes Arriba |
| 5. Cantón y Caserío Planes de la Laguna | 13. Caserío Los Arriola |
| 6. Cantón y Caserío Potrero Grande Abajo | 14. Cantón y Caserío Flor Amarilla Abajo |

Las zonas afectadas por el radio volcánico de color Naranja son:

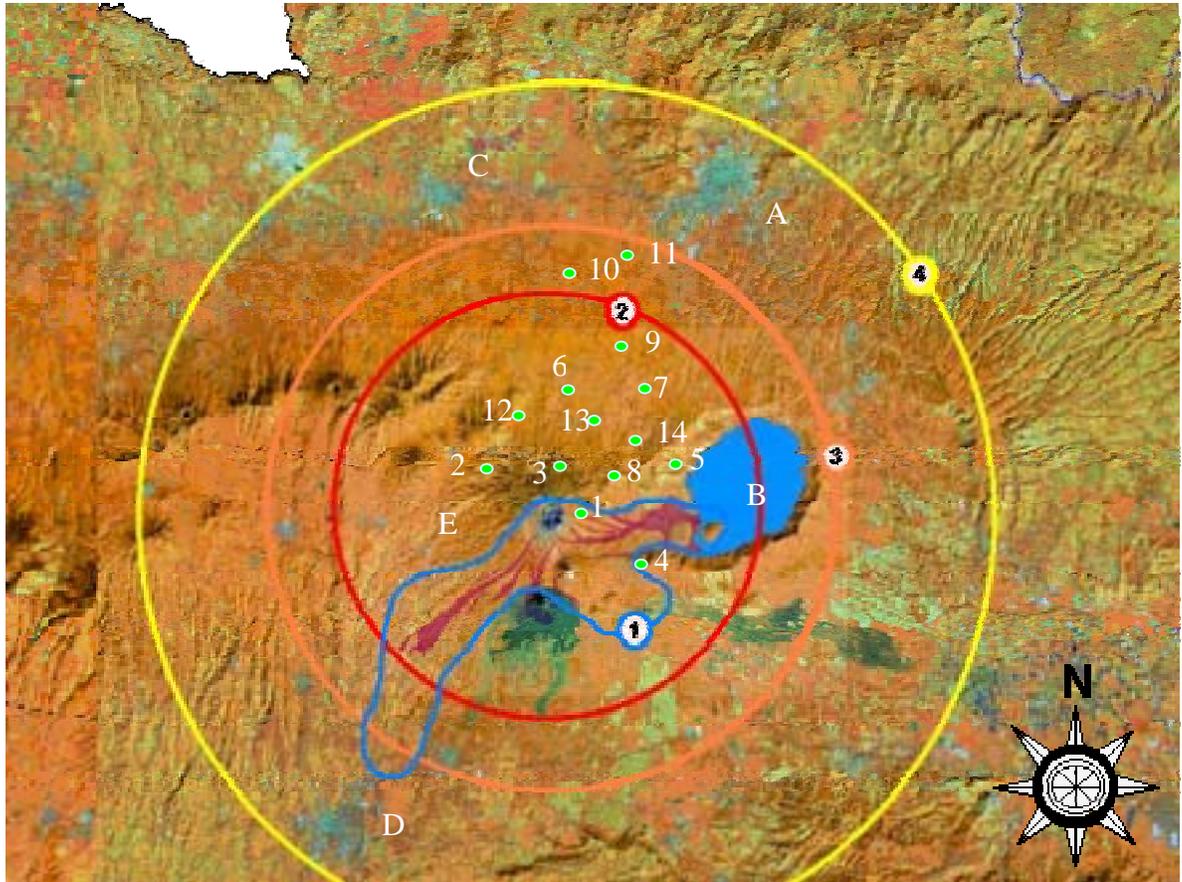
- 10. Cantón y Caserío Protreros del Matazano
- 11. Cantón y Caserío Cantarrana
- E. Caserío Los Naranjos
- B. Lago de Coatepeque

⁸ Tesis "Identificación de riesgos Geológicos". Marzo 2002. Pág. 141. UES

Las zonas afectadas por cenizas Volcánicas son:

- A. Ciudad de Santa Ana
- C. Chalchuapa
- D. Izalco
- E.

Figura 2.28: Mapa de Riesgo Volcánico



1 POSIBLES CAMINOS DE FLUJOS DE LAVA Y LAHARES.
Sobre la base de la topografía y geología de la zona y datos históricos, se determinó la posible dirección de los flujos en caso de erupción. Los tonos verde oscuro representan flujos de lava antiguos

2 FLUJOS DE MATERIALES PIROCLASTICOS
Los tonos rojizos representan depósitos de flujos piroclásticos, producto de la intensa actividad volcánica de la zona, sin embargo el depósito comprende la actividad de todo el complejo, no solo a Santa Ana

3 FLUJOS DE MATERIALES PIROCLASTICOS
La influencia de los flujos sería menor, en especial debido a la topografía y reducción de las pendientes; presencia de rocas efusivas basálticas, cenizas y tobas de lapilli.

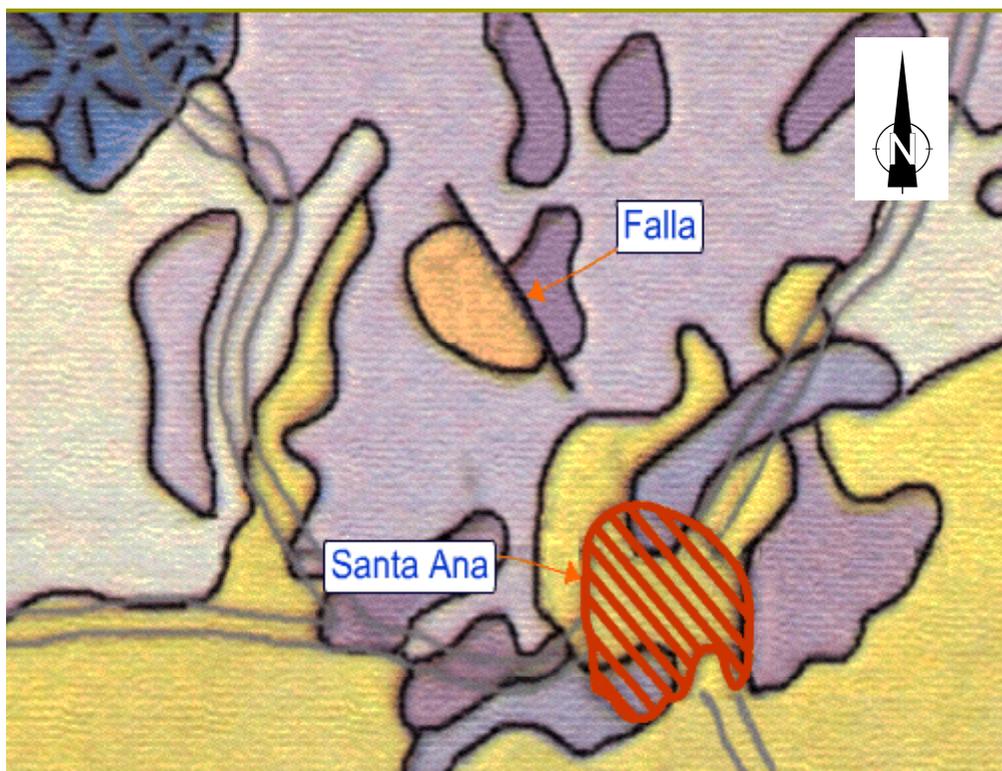
4 CENIZAS
Influencia de las cenizas, el espesor puede ser variable, hasta 30cm en una sola erupción, las cenizas pueden cubrir amplias zonas, destruir cultivos, viviendas por el colapso de los techos, generar enfermedades respiratorias

Fuente: Tesis "Identificación de Riesgos Geológicos en la Ciudad de Santa Ana", Marzo 2002. UES

2.7.2 Riesgo tectónico

La Ciudad de Santa Ana se encuentra influenciada por sismos ocasionados por el movimiento de las placas continentales; y a su vez por las fallas locales en el territorio nacional.

Figura 2.29: Ubicación de falla tectónica cercana al casco urbano de la ciudad de Santa Ana



Para la ciudad de Santa Ana, se encontró que dentro de esta no se ubican fallas geológicas que pudieran ocasionar problemas a cualquier tipo de edificaciones, más sin embargo se encuentran algunas a sus alrededores, la más próxima, se encuentra ubicada en las proximidades del cantón Planes del Ranchador (ver figura 2.29); y cuyas coordenadas son $89^{\circ} 34.2'$ longitud y $14^{\circ} 01'$ latitud. Dicha falla presenta una extensión aproximada de 6 Km, y cuyo rumbo es 47° nor-oeste.

2.7.3 Riesgo Hidráulico

De acuerdo a la descripción de las obras de drenaje existentes en el área de estudio, y en base al resultado de sus condiciones hidrológicas se puede decir que el riesgo hidráulico es evidente ya que las obras no son las necesarias ni las adecuadas para la cantidad de escorrentía y el tipo de material de arrastre que éstas llevan.

Observando los resultados de la prueba de percolación, se puede concluir que debido a las características litológicas de la zona y las velocidades de infiltración del agua, el suelo se puede clasificar como *semipermeable a impermeable* en el sector que posee Arcilla con Escoria Rojiza de Alta Plasticidad, y *permeable* en el que posee Pómez. Esto demuestra que el flujo de agua que experimenta el área estudiada drena con facilidad hasta por el suelo semipermeable, hasta el punto que es absorbido por el material permeable en la parte baja al norte de la zona analizada.

Lo anterior puede perjudicar a los habitantes de la Colonia Altos de Santa Lucía, ya que la escorrentía superficial no tiene un drenaje adecuado y erosiona grandemente la superficie del suelo, originando cárcavas, algunas de estas de dimensiones considerables, las que contribuyen en cierta medida a la desestabilización de la ladera. Es importante notar que las tuberías que se supone desalojan el flujo de captan, no tienen las dimensiones adecuadas para soportar tales descargas, esto se pudo comprobar en análisis hidráulico que se realizó, cuyos resultados fueron presentados en la Tabla 2.5

2.7.4 Desgaste de masas

Las modificaciones que el relieve terrestre experimenta, son consecuencia de los distintos procesos de desgaste que la acción de los agentes dinámicos de la atmósfera genera y de las fuerzas internas de la Tierra. En el Cerro Santa Lucía, se han realizado trabajos de terracería, con lo que se ha modificado la configuración natural del terreno, además de haber contribuido a la destrucción de la flora en esa zona. Tales cambios favorecen los procesos de desgaste de suelos, ya que al no

existir vegetación la escorrentía superficial tiene contacto directo con el suelo, facilitándose con ello los procesos de erosión. Esto puede observarse actualmente en el cerro. En diversas zonas del área de estudio, se aprecian numerosas cárcavas (ver Fig. 2.30a y 2.30b), que son consecuencia directa de la escorrentía superficial de la zona. De no tomar medidas preventivas ante ésta situación, el desgaste de masas de la zona será cada vez mayor, lo que a largo plazo puede convertirse en un problema bastante serio para la comunidad de la colonia Altos de Santa Lucía.



Figura 2.30a: Desgaste de masas producidas por el viento y la escorrentía superficial



Figura 2.30b: Cárcavas producidas por la escorrentía superficial

2.8 Resumen del diagnostico

En el diagnóstico, se consideró cada una de las distintas condiciones que se presentaban en la zona de estudio y que se considera que brindan valiosa información acerca del estado actual de las laderas del Cerro Santa Lucía. De este estudio se obtuvieron los siguientes resultados, en los que es posible observar con claridad la interrelación que existe entre los distintos factores así como los riesgos que de estos se derivan.

En la figura 2.31 se muestra la interrelación que existe entre los distintos factores analizados en el área de estudio.

FACTORES ANALIZADOS

Cobertura vegetal

En las laderas del cerro, se encontró que la cobertura vegetal había sido alterada en gran medida, lo que propicia la ocurrencia de fenómenos naturales tales como:

- a) Impacto directo de las gotas de lluvia contra el suelo
- b) No existe medio natural que disminuya la energía de las aguas de escurrimiento superficial
- c) Aumento de la infiltración en el suelo
- d) Disminución de los efectos cohesivos positivos que las raíces de las plantas, pudieran tener en las laderas.

Topografía

Actualmente las laderas del cerro poseen una topografía con pendientes mucho más fuertes que las que se encontraban en las condiciones naturales de estas, lo que influye directamente en las velocidades de la escorrentía superficial.

Suelo existente

Se observaron básicamente dos tipos de materiales constituyentes: estratos de arcilla y estratos de pómez. Por un lado se tiene las arcillas, que en presencia de agua aumentan considerablemente su plasticidad, además de aumentar su volumen, lo que genera esfuerzos en el suelo de la ladera. En cuanto al pómez, por las propiedades que posee, favorece la infiltración, posibilitando con ello la acumulación de agua en los estratos inferiores, lo que puede generar inestabilidades en el suelo.

Litología

En el área de interés, se definen 2 formaciones geológicas: *La Formación de San Salvador* y *la del Bálsamo*, siendo la segunda la de principal interés, ya que de acuerdo a eventos recientes (sismo de 13 de enero de 2001), es susceptible a verse afectada por los movimientos sísmicos

Condiciones hidrológicas

En nuestro país, durante la estación lluviosa se producen precipitaciones con altas intensidades, por lo que se pueden presentar abundantes escorrentías superficiales. También durante el resto del año, se posee un clima bastante húmedo, por lo que siempre existe la posibilidad de obtener estratos de suelo con cierto contenido de humedad.

Obras de drenaje

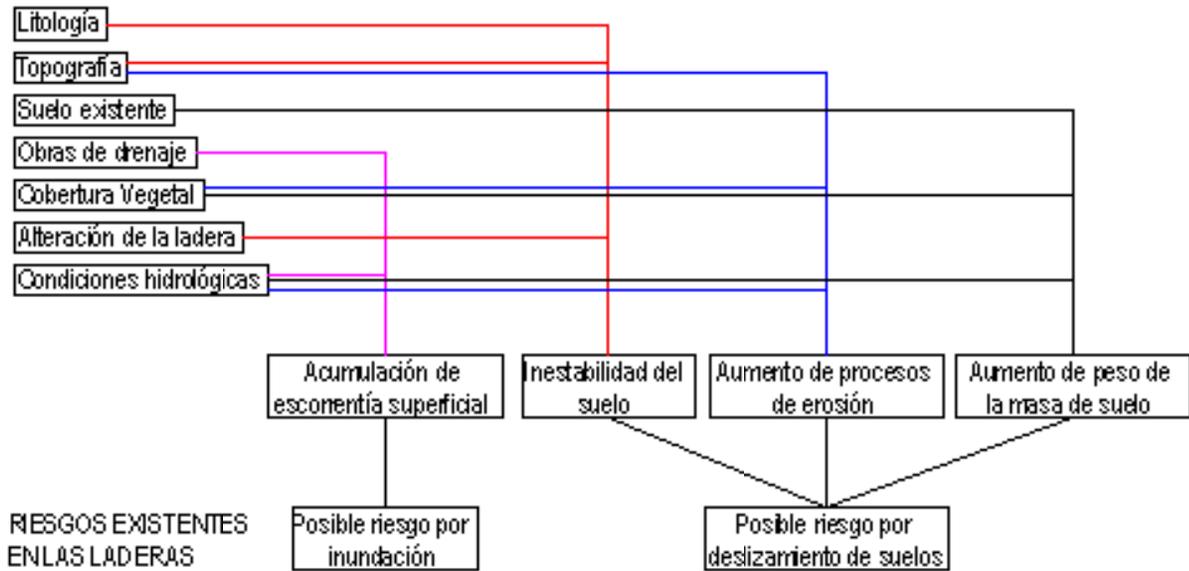
De acuerdo al estudio hidrológico realizado, las obras de drenaje que existen en la zona de estudio son insuficientes para el caudal que se genera.

Alteración de la ladera

La realización de trabajos de terracería, afectó las condiciones naturales de la ladera, lo que contribuye a la inestabilización de esta.

INTERACCION DE LOS DISTINTOS FACTORES

FACTORES



RIESGOS EXISTENTES EN LAS LADERAS

CONSECUENCIAS:

- Riesgos de inundación para las viviendas que colindan directamente con las laderas del Cerro Santa Lucía.
- Daños materiales en las viviendas, lo que repercute en la economía familiar de los habitantes de dicha colonia.
- Riesgos para la integridad física de los habitantes de la colonia.
- Reducción considerable de la plusvalía de las viviendas.

Figura 53: Esquema interacción de factores influyentes en la zona de estudio

CAPITULO III
GEOTECNIA DEL
SITIO DE ESTUDIO

3.0 INTRODUCCION

Este capítulo se refiere a las pruebas ejecutadas sobre las muestras extraídas de los sondeos y de los otros trabajos de investigación, realizados para obtener información representativa del terreno que conforma la ladera del Cerro Santa Lucía, objeto de estudio. Se realizaron pruebas de identificación tales como contenido de humedad, granulometría, gravedad específica y límites de Atterberg. Posteriormente se realizaron pruebas con el fin de conocer las propiedades mecánicas del subsuelo tales como ensayos de penetración estándar (SPT) y pruebas triaxiales.

3.1 OBJETIVO

La finalidad de esta campaña de estudio de suelo es principalmente identificar los estratos existentes en la zona de estudio; además obtener las propiedades mecánicas del suelo para después proceder al análisis de resultados y determinar si la ladera en análisis es estable. Posteriormente diseñar las medidas correctivas o preventivas para mitigar el riesgo de los habitantes residentes en la Colonia Altos de Santa Lucía.

3.2 ESTUDIO DE SUELOS

3.2.1 Localización y descripción del sitio

Los distintos puntos de muestreo se encuentran ubicados en el sector suroeste de la ciudad de Santa Ana, específicamente en la zona habitacional conocida como Colonia Contexa, la cual colinda con el pie del cerro Santa Lucía. Ver figura 3.1 y Tabla 3.1. El área de estudio, presentaba una abundante cobertura vegetal, en la que se observó un claro predominio del café, además de contar con un número apreciable de árboles de sombra. El terreno donde se realizaron los muestreos es montañoso.

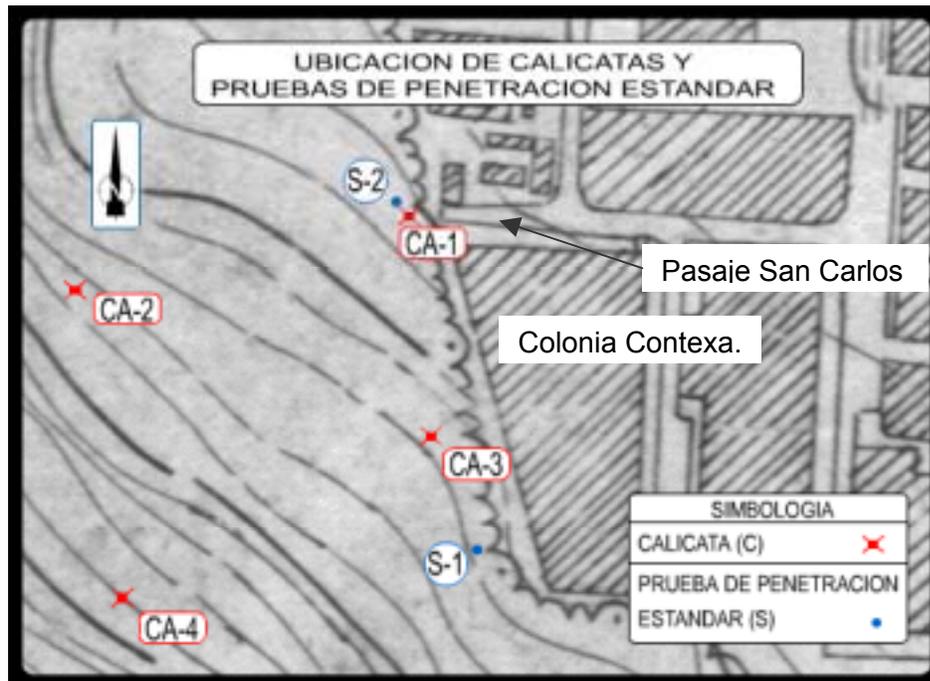


Figura 3.1: Localización de los distintos puntos de muestreo

Tabla 3.1. Coordenadas geodésicas de los sondeos

SIMBOLOGIA	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN (m)
CA-1: Calicata 1	319193.00	438306.00	666.62
CA-2: Calicata 2	319169.00	438192.00	691.98
CA-3: Calicata 3	319091.00	438195.00	684.31
CA-4: Calicata 4	319060.00	438205.00	720.00
S-1: SPT 1	319050.00	438215.00	658.79
S-2: SPT 2	319196.50	438301.00	667.17

3.2.2 Resultados obtenidos

A. Pruebas de identificación

Para la ejecución de las pruebas de identificación se realizaron calicatas de las cuales se obtuvieron muestras de suelo a distintas profundidades o cuando se observó cambio de estrato. Dichas calicatas se realizaron con las dimensiones mostradas en la figura 3.2

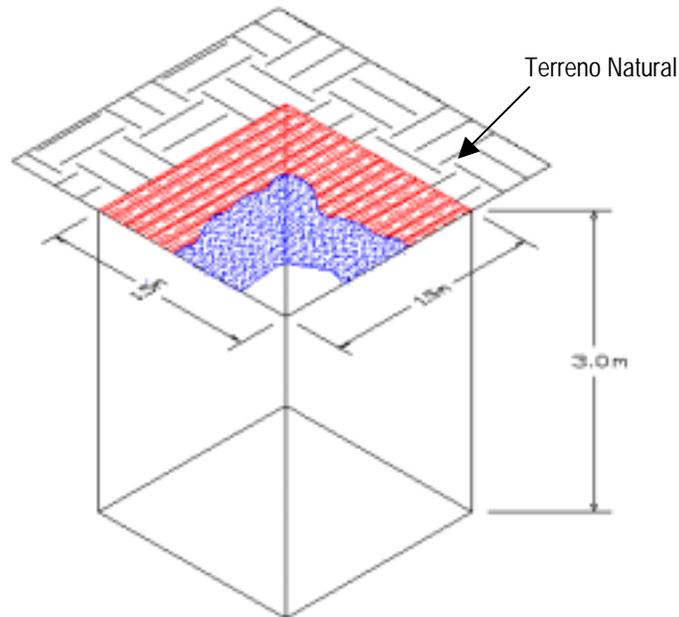


Figura 3.2: Dimensiones de calicata donde se puede observar distintos estratos

Se realizaron 4 calicatas en la zona de estudio, en los cuales se identificaron 3 tipos de suelo. Ver anexo 7. En este numeral se muestra el resultado de la exploración del subsuelo para la identificación y caracterización mecánica del mismo. A continuación se presenta la descripción realizada en campo de la estratificación encontrada en los pozos. Se tomaron datos de buzamiento y dirección de los estratos en el sentido de la ladera, es decir dirección este – oeste.

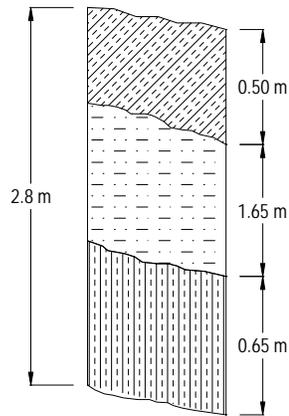
CALICATA 1



En esta perforación se identificaron 3 estratos, ver figura 3.3a, y a continuación se preclasificaron ver figura 3.3b

Fig. 3.3a: Fotografía calicata 1

DIRECCION ESTE - OESTE



Estrato 1

Angulo de Buzamiento: 15.6°

Dirección del buzamiento: E - W

Estrato 2

Angulo de Buzamiento: 13.6°

Dirección del buzamiento: E - W

ESTRATIFICACION CALICATA -1

ARENA ARCILLOSA CON SUELO ORGANICO 
 ARENA ARCILLOSA 
 TALPETATE (ARENA LIMOSA) 

Estrato 3

Angulo de Buzamiento: 11.3°

Dirección del buzamiento: E - W

Fig. 3.3b: Estratigrafía calicata 1

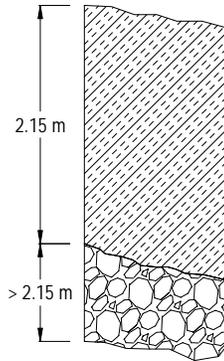
CALICATA 2



En esta perforación se identificó 1 estrato , ver figura 3.4a, y a continuación se preclasificaron ver figura 3.4b

Fig. 3.4a: Fotografía calicata 2

DIRECCION ESTE - OESTE



Estrato 1

Angulo de Buzamiento: 16.7°

Dirección del buzamiento: E – W

Estrato 2

Angulo de Buzamiento: 12.6°

Dirección del buzamiento: E – W

ESTRATIFICACION CALICATA -2

ARENA ARCILLOSA CON SUELO ORGANICO



ROCA



Fig. 3.4b: Estratigrafía calicata 2

CALICATA 3



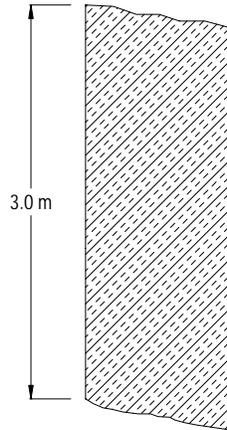
En esta perforación se identificó 1 estrato , ver figura 3.5a, y a continuación se preclasificaron ver figura 3.5b

Fig. 3.5a: Fotografía calicata 3

DIRECCION ESTE - OESTE

Angulo de Buzamiento: 20.3

Dirección del buzamiento: E-W



ESTRATIFICACION CALICATA -3

ARCILLA CON SUELO ORGANICO 

Fig. 3.5b: Estratigrafía calicata 3

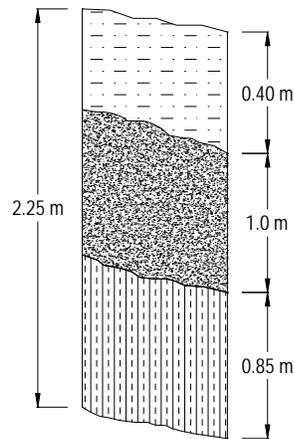
CALICATA 4



En esta perforación se identificaron 3 estratos , ver figura 3.6a, y a continuación se preclasificaron ver figura 3.6b

Fig. 3.6a: Fotografía calicata 4

DIRECCION ESTE - OESTE



ESTRATIFICACION CALICATA -4

ARENA ARCILLOSA	
ARENA	
LIMO ARENOSO	

Estrato 1

Angulo de buzamiento: 16.2°

Dirección del buzamiento: E-W

Estrato 2

Angulo de buzamiento: 15.8°

Dirección del buzamiento: E-W

Estrato 3

Angulo de buzamiento: 15.2°

Dirección del buzamiento: E-W

Fig. 3.6b: Estratigrafía calicata 4

Considerando que la estratigrafía encontrada en la calicata No 4 es representativa de los suelos identificados en la zona de estudio se procedió a extraer muestras alteradas de la misma para todas las pruebas que a continuación se mencionan.

Las pruebas de identificación que se realizaron a 9 muestras son:

- Granulometría por lavado (Según norma ASTM D 421-85)
- Gravedad específica (Según norma ASTM D 854-92)
- Límites de Atterberg (Según norma ASTM D 4318-93)
- Identificación mediante S.U.C.S.

Esto según el programa de pruebas ilustrado en la tabla 3.2. En el anexo 8 se muestran los detalles de las pruebas realizadas.

TABLA. 3.2. Programa de pruebas de identificación

TIPO PRUEBA CALICATA	Gravedad especifica de suelos	Análisis granulométrico	Limites de Atterberg
CA1	1	-----	-----
CA2	-----	-----	-----
CA3	-----	-----	-----
CA4	1	3	2

La muestra para la prueba triaxial se extrajo de la calicata CA1-ESTR3, ya que de acuerdo con identificación visual que se efectuó en el resto de las calicatas se observó que ese tipo de suelo es el predominante en la zona y que debido a sus propiedades intrínsecas fue el único donde se pudo extraer la muestra inalterada..

A.1 Granulometría de suelos

a) Muestra del estrato No 1 calicata 4: el % que pasa la malla No 200 es de 30 % lo cual indica que se trata de un suelo grueso. De esta parte el 93 % pasa la No 4; el 70 % se retiene en la malla 200. Por lo que se preliminarmente se puede clasificar como arena con cantidad importante de finos, de los cuales se conocerá su plasticidad para poder clasificar el suelo del estrato en cuestión. En la figura 3.7, se observa la curva granulométrica de este material. En el Anexo 8 se presenta el detalle de las pruebas tratadas en este apartado.

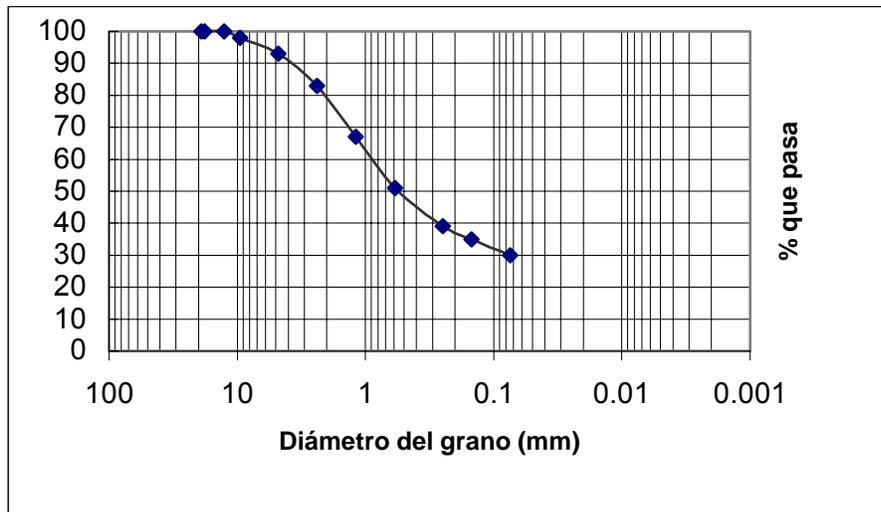


Figura 3.7: Curva granulométrica del estrato 1

- b) Muestra del estrato No 2 calicata 4: el % que pasa la malla 200 es de 0%, por lo que se considera un suelo grueso; el porcentaje que pasa la malla No 4 es de 85%, por lo que preliminarmente se puede clasificar como arena con grava. Carece totalmente de finos por lo que no es necesario conocer su plasticidad. El coeficiente de curvatura es de $4.3 > 4$, esto indica que existe grava dentro de la muestra de suelo en un 5 %. En la figura 3.8, se observa la curva granulométrica de este material. Ver anexo 8.

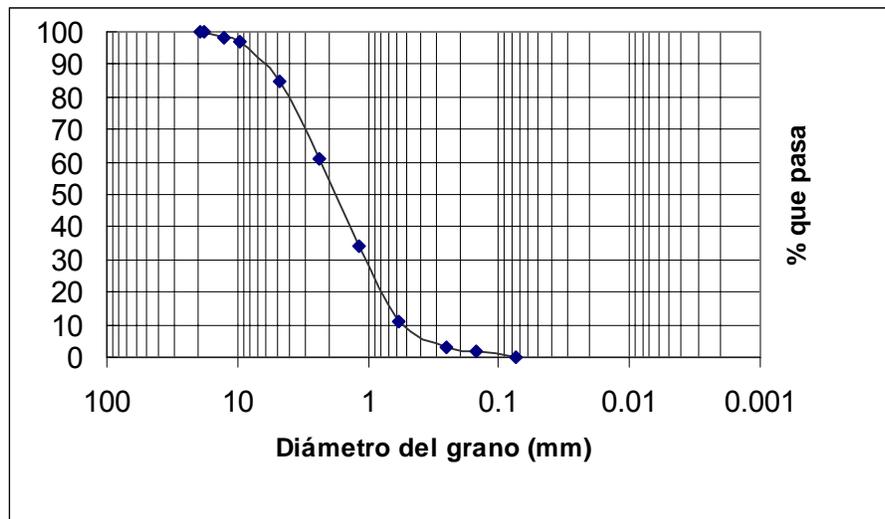


Figura 3.8: Curva granulométrica del estrato 2

- c) Muestra del estrato No 3 calicata 4: el % que pasa la malla 200 es de 78 %, por lo que se considera un material fino, con presencia de gruesos en menor proporción. Se considera necesario conocer la características de plasticidad, estas se presentan en el siguiente numeral. En la figura 3.9, se observa la curva granulométrica de este material. Ver Anexo 8.

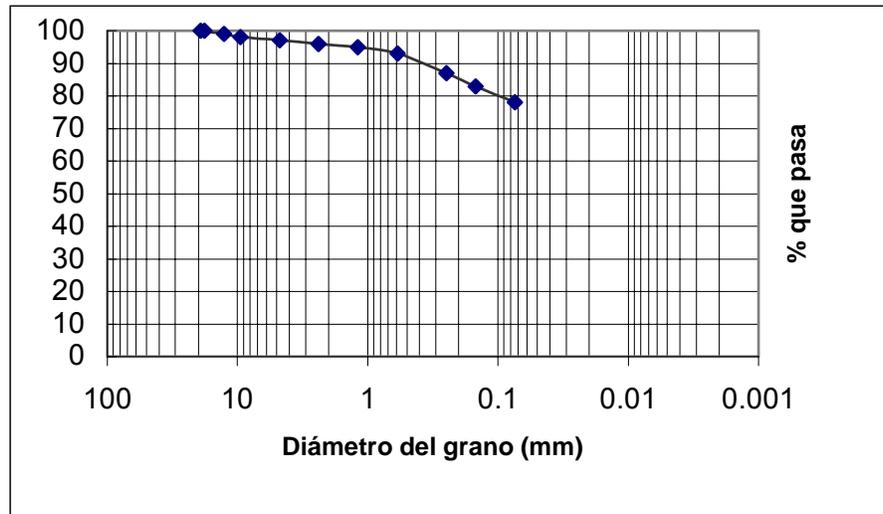


Figura 3.9: Curva granulométrica del estrato 3

A.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para la muestra alterada del estrato No. 2 sólo se calculó la absorción, ya que debido a las propiedades de esta es imposible determinar el límite líquido o plástico, obteniendo un valor de 3.6 %.

En el suelo del estrato 1, se obtuvo un límite líquido del 41.1% y un límite plástico del 29.14%, obteniéndose un índice de plasticidad del 11.96%.

El estrato No 3, presentaba un límite líquido del 50.50% y un límite plástico del 31.86%, obteniendo un índice de plasticidad del 18.64%. Ver anexo 8.

A.3 GRAVEDAD ESPECIFICA

Esta se calculó para el estrato No. 2 de la calicata No. 4 y para el estrato No. 3 de la calicata No. 1, obteniéndose un valor de 2.5 y de 2.52 respectivamente.

B. Pruebas Mecánicas

Para determinar las características mecánicas de los terrenos objeto del estudio, se llevaron a cabo pruebas de penetración estándar y pruebas triaxiales sobre las muestras seleccionadas y representativas de las condiciones litológicas de los lugares.

Las pruebas de penetración estándar permiten determinar la resistencia del suelo, las posibles fallas que se encuentran en el subsuelo, así como las distintas estratigrafías que en éste se encuentran; las pruebas triaxiales son del tipo no consolidado no drenado, en condiciones de parcial saturación al contenido de humedad natural de la muestra, y permiten obtener el ángulo de fricción interna y el valor de cohesión del material.

Con referencia a la diferenciación antes mencionada de los terrenos perforados, se ejecutaron las siguientes pruebas:

- 2 pruebas de penetración estándar
 - Sondeo 1 – profundidad: 6.0 metros
 - Sondeo 2 – profundidad: 6.0 metros
- 1 prueba triaxial
 - CA1 – ESTR3 – profundidad: 2.25 metros

B.1 ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

El trabajo de campo consistió en dos sondeos de penetración estándar, la profundidad de exploración mínima y máxima de 1.50 y 5.50 metros respectivamente, medidos a partir del nivel del terreno natural, dicha profundidad estuvo determinada por la mínima penetración de la herramienta de avance debido a la intercepción de suelos muy densos y roca, que no pueden ser atravesados por el método de penetración estándar. A través de los ensayos de penetración estándar normalizados por ASTM D 1586-92, se establece la resistencia del suelo, así como un muestreo continuo del mismo. Ver anexo 9.

En la figura 3.10 se muestra una fotografía del suelo que fue encontrando al momento de efectuar las perforaciones.

a) Capacidad de carga admisible

La carga admisible del suelo correlacionada a través de los ensayos de penetración estándar es variable en cada sondeo y profundidad, como se indica en la tabla 3.3.



Figura 3.10: Extracción de muestras de suelo mediante penetración estándar.

- a) Equipo de penetración estándar
- b) Muestra extraída del sondeo 1
- c) Muestra extraída del sondeo 2

Tabla 3.3. Capacidad de carga admisible

PROFUNDIDAD (m)	SONDEOS	
	S - 1	S - 2
0.50	0.90	0.20
1.00	2.00	> 5.00
1.50	> 5.00	> 5.00
2.00	> 5.00	ROCA
2.50	1.90	-
3.00	4.30	-
3.50	3.00	-
4.00	3.10	-
4.50	3.00	-
5.00	3.30	-
5.50	< 5.00	-

- b) Los contenidos de humedad natural de los suelos interceptados indican un estado general de parcial saturación, sin embargo se debe tomar en cuenta que estos suelos disminuyen su resistencia cuando se saturan por lo que las condiciones actuales del subsuelo podrían cambiar significativamente si se incrementa su contenido de humedad.
- c) Hasta la máxima profundidad de exploración no se encontró nivel freático. Ver anexo 10.

B.2 PRUEBA TRIAXIAL

La profundidad a la cual se extrajo la muestra inalterada fue de 2.25 m. De la prueba triaxial se obtuvo que el ángulo de fricción interna del material analizado es de 32.2°. En cuanto al coeficiente de cohesión, tiene un valor de 0.50 kg/cm². Ver figura 3.11. Para el detalle del ensayo ver anexo 11.

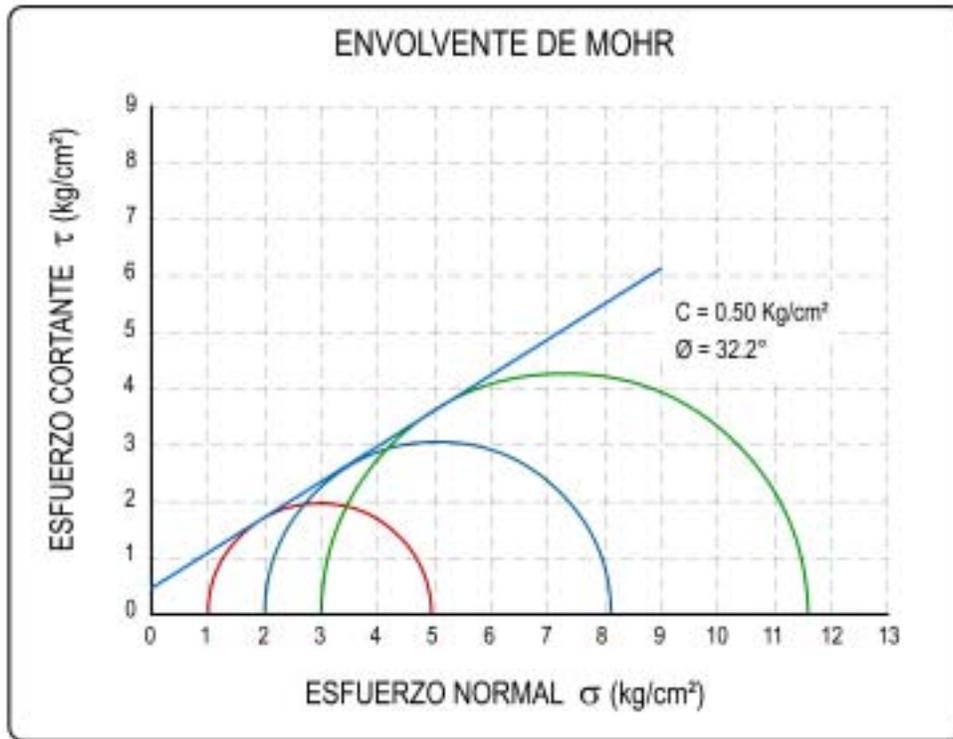


Figura 3.11: Envolvente de prueba triaxial

3.2.3 Análisis de resultados

A. Identificación mediante método S.U.C.S

A.1 Clasificación estrato 1 calicata 4:

a) Granulometría:

% que pasa la malla No 200 = 30% ; se clasifica como **suelo grueso**.

% que pasa la malla No 4 = 93 % . ; se clasifica como **arena**.

% de finos > 12 % ; por lo que es necesario **conocer características de plasticidad**

b) Limites de Atterberg.

Limite liquido = 41.10 %

Limite plástico = 29.14 %

Índice de plasticidad = 11.96 %

Según carta de plasticidad $IP = 0.73 \cdot (LL - 20)$

$IP = 15.40 \%$. El índice de plasticidad del suelo queda por debajo de la línea A, y posee un límite líquido menor al 50%, por lo que el fino presente en la muestra se clasifica como: **Limo de baja compresibilidad**. Ver figura 3.12.



Figura 3.12: Clasificación SUCS del material fino del estrato 1

A.2 Clasificación estrato 2 calicata 4:

a) Granulometría:

% que pasa la malla No 200 = 0% ; se clasifica como **suelo grueso**.

% que pasa la malla No 4 = 85 % . ; se clasifica como **arena**.

% de finos < 12 % ; carencia total de finos

Modulo de finura = 4.04

Absorción = 3.6 %

Gravedad especifica Bulk = 2.5

$C_u = 4.3 > 4$; contenido de grava en 5 %

$C_c = 0.94 < 3$; Arena bien graduada

A.3 Clasificación estrato 3 calicata 4:

a) Granulometría:

% que pasa la malla No 200 = 78%; se clasifica como **suelo fino con bajo porcentaje de suelo grueso**.

% de finos > 12 % ; por lo que es necesario **conocer características de plasticidad**

b) Límites de Atterberg.

Límite líquido = 50.50 %

Límite plástico = 31.86 %

Índice de plasticidad = 18.64 %

Según carta de plasticidad $IP = 0.73 \cdot (LL - 20)$

$IP = 22.27 \%$. El índice de plasticidad del suelo queda por debajo de la línea A por lo que el fino presente en la muestra se clasifica como: **Limo de alta compresibilidad**. Ver figura 3.13.

Figura 3.13: Clasificación SUCS del material fino del estrato 3

A.4 Estrato 3 Calicata 1.

Clasificado como arena limosa color café claro (SM). Ver Prueba triaxial anexo 11.

A.5 SUELOS IDENTIFICADOS POR ESTRATO

Tabla 3.4. **Resumen de suelos encontrados en el Área de Estudio**

ESTRATO	SÍMBOLO	DESCRIPCION
CA4-1	SM	Arena limosa, fino con baja compresibilidad
CA4-2	SW	Arena limpia bien graduada
CA4-3	MH	Limo de alta compresibilidad, gruesos despreciables
CA1-1	SM	Arena limosa color café claro.

A.5.1 Observaciones con respecto a los tipos de suelos encontrados.

A continuación se presentan observaciones tomando en cuenta las propiedades plásticas encontradas en los suelos ensayados

- a) Se puede observar que existe mayor presencia de materiales estables poco permeables. En ninguna de las excavaciones que se realizaron se encontró nivel freático por lo que ninguno de los estratos interceptados es transmisor de agua. El agua presente era producto de la precipitación de poca intensidad que se dio durante la excavación.
- b) Debido a que el limite liquido del estrato 3 de la calicata 4 se encuentra entre el 50% – 70%, se puede decir que tiene alta plasticidad.
- c) El estrato 1 de la calicata 4 presento un limite liquido de 41.10%, por lo que posee plasticidad intermedia¹.

¹ Mecánica de suelos. Peter L. Berry – David Reid. Cap 1.Tabla 1.7. pag. 43

B. Análisis de resultados pruebas mecánicas

En base a los resultados obtenidos se presentan las siguientes observaciones. Las cuales serán complementadas con un análisis más profundo de la estabilidad del talud mediante métodos numéricos.

- Se observa que el ángulo de fricción interna de la muestra ensayada es mayor que el ángulo de buzamiento encontrado en las calicatas, por lo que se puede decir que las condiciones naturales del talud favorecen a la estabilidad del mismo.
- En el ensayo de compresión triaxial se obtuvieron los parámetros siguientes, Cohesión = 0.5 kg/cm² y un Angulo de fricción interna = 32.2°. Los cuales representan la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Para determinar un valor exacto de esta resistencia se procedió al calculo de el esfuerzo cortante:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.1)$$

$$\tau = 0.5 + 3 \tan 32.2$$

$$\tau = 2.40 \text{ kg/cm}^2$$

- Por el numero de golpes necesarios para hincar la cuchara muestreadora se puede afirmar que el suelo muestreado en los ensayos de penetración estándar son resistentes y densos. Ver anexo 9.
- Según las resistencias encontradas en el subsuelo hasta la profundidad muestreada, no hay bases que evidencien una posible superficie de falla. Ver anexo 9.

3.3 GEOTECNIA

En base a los estudios de suelos realizados sobre la ladera del Cerro Santa Lucía se pretende determinar la condición de estabilidad de la ladera. Se realizará un análisis numérico mediante los métodos de las dovelas (Janbu) el cual se

utilizará para evaluar la estabilidad tomando en cuenta los parámetros del suelo y la geometría de la ladera.

Tabla 3.5. Cuadro comparativo de los parámetros que determinan la estabilidad de la ladera

Factores existentes en el área de estudio	Afecta positivamente la estabilidad de laderas	Afecta negativamente la estabilidad de laderas
Suelo con poca permeabilidad: arena arcillosa (< 2m), talpetate (2 – 6 m)	Las precipitaciones tienen menos influencia en los estratos inferiores, por lo que el peso de la ladera no se ve incrementado.	
Suelos con alta resistencia al esfuerzo cortante	El suelo posee un valor de $c = 0.50 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 32.2^\circ$.	
Suelos poco sensibles a las vibraciones	No existen suelos libres de materiales aglutinantes, por lo que los que los movimientos no afectan significativamente la ladera	
Suelo apropiado para el crecimiento de flora	La reforestación de la ladera contribuiría al aumento de la estabilidad del suelo.	Es necesario realizar un control del tipo de vegetación existente en las laderas, de tal forma que no existan plantas con raíces que sean nocivas par la estabilidad de esta.

3.3.1 Determinación del factor de seguridad de la ladera en estudio

El análisis de estabilidad es un procedimiento de pruebas sucesivas. Se escoge una superficie potencial de deslizamiento y se determina el factor de seguridad contra deslizamiento a lo largo de esa superficie. Se selecciona diferentes superficies y se repite el análisis hasta que se encuentre la superficie que tiene el factor más bajo de seguridad, conocido como superficie crítica. El factor calculado

de seguridad contra el deslizamiento a lo largo de la superficie crítica es el factor de seguridad indicado para el talud..

El factor de seguridad, “FS”, para un talud se define generalmente como la relación de resistencia al corte disponible con respecto al esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica. Las características de esfuerzos y deformaciones de la mayoría de suelos son tales que se pueden presentar deformaciones plásticas relativamente grandes en cuanto se aproximan los esfuerzos cortantes aplicados a la resistencia al corte del material. En el análisis de un talud, el factor de seguridad debe ser mayor a la unidad para tener en cuenta las diferencias entre las presiones de agua de poros, los parámetros de resistencia al corte y las deformaciones asumidas en el diseño, y aquellas que puedan existir realmente dentro del talud.

A continuación se explicará el método de Janbu, el cual se utilizó para analizar la estabilidad de la ladera del Cerro Santa Lucía.

El método de Janbu, es idóneo para resolver problemas que tienen que ver con la determinación del factor de seguridad de taludes, de una manera muy sencilla. También es llamado método de tajadas ordinario. En este método a cada dovela se le debe calcular las siguientes fuerzas:

$$N1 = Wsen\alpha \quad (3.2); \quad y \quad N2 = [Wcos\alpha - uL] x tan\phi + cL \quad (3.3)$$

Donde:

W = Peso de la tajada (KN/m).

u = Presión de poros (KN/m²).

ϕ = ángulo de fricción (°).

α = ángulo comprendido entre la base de la tajada y la horizontal (°).

L = Longitud del segmento de superficie de falla medido a lo largo de la base de la tajada (m).

c = Cohesión (KN/m²)

El factor de seguridad del talud se obtiene mediante:

$$FS = \frac{\sum N_2}{\sum N_1} \quad (3.4)$$

Para entender mejor el procedimiento de este método, se ilustrará la metodología a seguir mediante un ejemplo considerando un perfil cualquiera.

$$\gamma = 9.91 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi = 32.2^\circ$$

$$c = 49.03 \text{ Kpa}$$

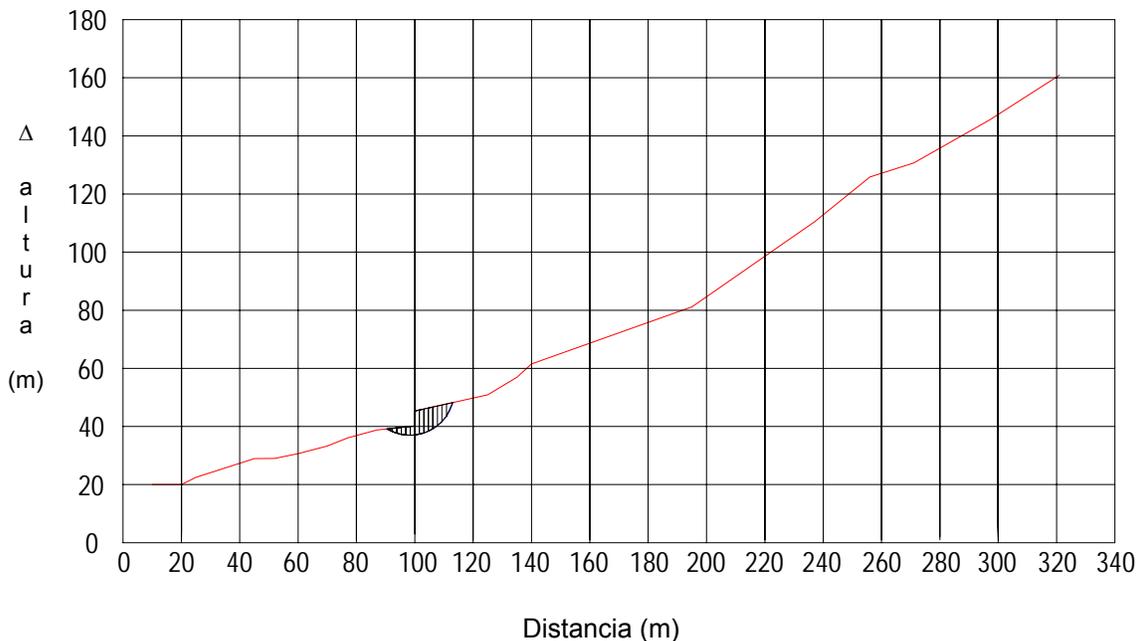


Figura 3.14: Perfil de ladera analizada mostrando una superficie de falla

◆ **Primer Paso:**

Lo primero que se debe realizar, es dividir el sector analizado en dovelas o tajadas. El número de dovelas es aleatorio al igual que el ancho de cada una de ellas. Normalmente las dovelas se dibujan de tal manera que en ellas solo haya un tipo de suelo. En este caso hay un solo tipo de suelo, con las propiedades escritas anteriormente. En este caso, se dividió el sector en 14 dovelas de un ancho promedio de 1.55 m. Ver figura 3.14 y 3.15

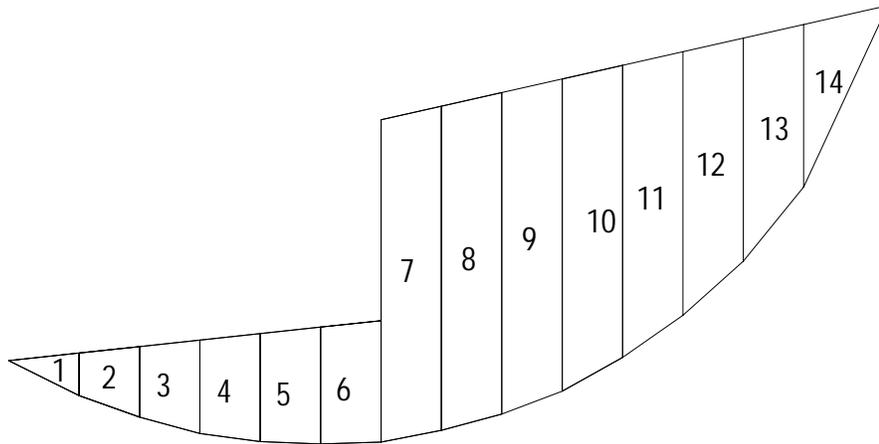


Figura 3.15: Vista ampliada del círculo de falla mostrada en la figura 3.14, y la división en dovelas

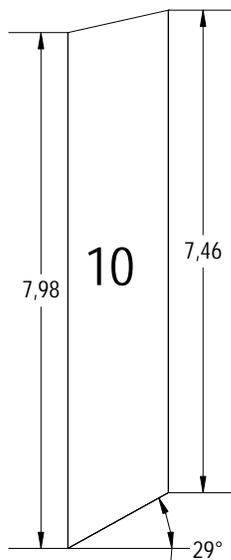
- ♦ **Segundo Paso:** Se determina la geometría de cada una de las dovelas, que incluye:

L = longitud del segmento de superficie de falla medido a lo largo de la base de la tajada o dovela (m).

b = Ancho de la dovela (m).

α = Angulo comprendido entre la base de la dovela o tajada y la horizontal (m).

Para la geometría se calculara el área a partir de las medidas mostradas de la dovela 10. Ver figura 3.16



a 3.16: Propiedades geométricas de la a 10.

El área de la figura mostrada es el de un trapecio cuya área esta dada por

$$A = (H+H')/2 \times B \quad (3.5)$$

Para la dovela 10 sustituyendo en la ecuación 5 el área es la siguiente:

$$A = (7.98+7.46)/2 \times 1.55 = 11.968 \text{ m}^2$$

Luego se calcula L mediante función trigonométrica. Sabiendo que el ángulo $\alpha = 29^\circ$ se tiene lo siguiente:

$$L = 1.55/\cos(29^\circ) . \text{ Ver figura 3.17}$$

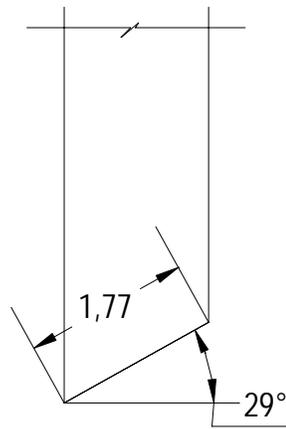


Figura 3.17: Longitud de segmento “L” de la dovela 10

Los ángulos α de las demás dovelas se calcularon directamente del dibujo completo de donde aparecen todas las dovelas. Las áreas de las dovelas restantes fueron calculadas directamente del dibujo de la falla completa. Tanto los ángulos áreas y longitudes de segmento “L” aparecen en la tabla 3.6.

- ♦ **Tercer Paso:** se procedió al calculo del peso del suelo en cada dovela tomando en cuenta el peso volumétrico de y el área de cada una calculada en el paso anterior.

$$W = 9.91 \text{ Kn/m}^3 \times 11.9683 \text{ m}^2 = 118.61 \text{ Kn/m}$$

- ◆ **Cuarto Paso:** Se procede al calculo de las fuerzas N1 Y N2 para cada dovela, mediante las formulas 3.2 y 3.3 respectivamente. Sustituyendo para la dovela No 10 se tiene que:

$$C = 49.03 \text{ Kn/m}^2 ; \phi = 32.2^\circ ; \alpha = 29^\circ ; L = 1.77 \text{ m} ; W = 118.61 \text{ Kn/m}$$

$$\text{Fuerza N1} = 118.61 \text{ Kn/m} \text{ sen } 29^\circ = 57.5032 \text{ Kn/m}$$

$$\text{Fuerza N2} = 118.61 \text{ cos } 29^\circ \times \tan 32.2 + 49.03 \times 1.77 = 152.11 \text{ Kn/m}$$

Todo el procedimiento anterior se realiza para cada una de las dovelas. Una vez que se tienen los valores de fuerza N1 Y N2, se realiza una sumatoria de N1 y de N2, posteriormente se evalúa en la ecuación 3.4. El factor de seguridad se obtiene de la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Cálculo de factor de seguridad Janbu

Dovela No	α	L(m)	Area (m ²)	kn/m ³	W (Kn/m)	c(kn/m ²)	ϕ	N1	N2
1	-26.00	2.02	0.98	9.91	9.74	49.03	32.20	-4.27	104.55
2	-20.00	1.64	2.24	9.91	22.21	49.03	32.20	-7.60	93.55
3	-15.00	1.61	3.25	9.91	32.19	49.03	32.20	-8.33	98.52
4	-8.00	1.56	3.99	9.91	39.55	49.03	32.20	-5.50	101.15
5	-2.00	1.55	4.45	9.91	44.13	49.03	32.20	-1.54	103.77
6	2.00	1.55	4.72	9.91	46.75	49.03	32.20	1.63	105.42
7	11.00	1.58	12.80	9.91	126.81	49.03	32.20	24.20	155.85
8	15.00	1.60	12.78	9.91	126.67	49.03	32.20	32.78	155.50
9	21.00	1.66	12.55	9.91	124.36	49.03	32.20	44.57	154.50
10	29.00	1.77	11.97	9.91	118.61	49.03	32.20	57.50	152.11
11	35.00	1.89	11.00	9.91	109.04	49.03	32.20	62.54	148.92
12	42.00	2.08	9.63	9.91	95.47	49.03	32.20	63.88	146.66
13	51.00	2.44	7.64	9.91	75.67	49.03	32.20	58.81	149.62
14	65.00	5.12	4.49	9.91	44.48	49.03	32.20	40.31	262.87
Σ								358.98	1933.00

Sustituyendo en la ecuación 3.4 se tiene que:

$$F.S = \Sigma N2 / \Sigma N1 = 1933.00 / 358.98 = 5.38 > 1.5 \Rightarrow \text{Estable.}$$

El procedimiento antes descrito se realizó para obtener el factor de seguridad más desfavorable el cual se obtiene de una serie de iteraciones para distintos círculos de falla. Para nuestro caso se utilizó un programa slope “PCSTBL5”, con el cual se ensayaron 200 círculos de falla para cada deslizamiento propuesto.

Posteriormente los mismos círculos de falla se ensayaron con el programa antes mencionado, pero con la variante que se aplicó el método de Bishop simplificado. En vista de que el análisis se realizó por el método de Janbu no se profundizara en el método de Bishop, ya que este se utilizó para establecer una comparación entre los factores de seguridad. Este método se explica en la referencia bibliográfica 1. A continuación se presentan las superficies de falla propuestas con su correspondiente factor de seguridad, calculado por Janbu y Bishop donde se puede observar la semejanza en los resultados obtenidos. Ver figuras de 3.18 a 3.24. El Círculo rojo representa la falla por el método Janbu. En el anexo 12 se muestra la corrida del programa PCSTABL5.

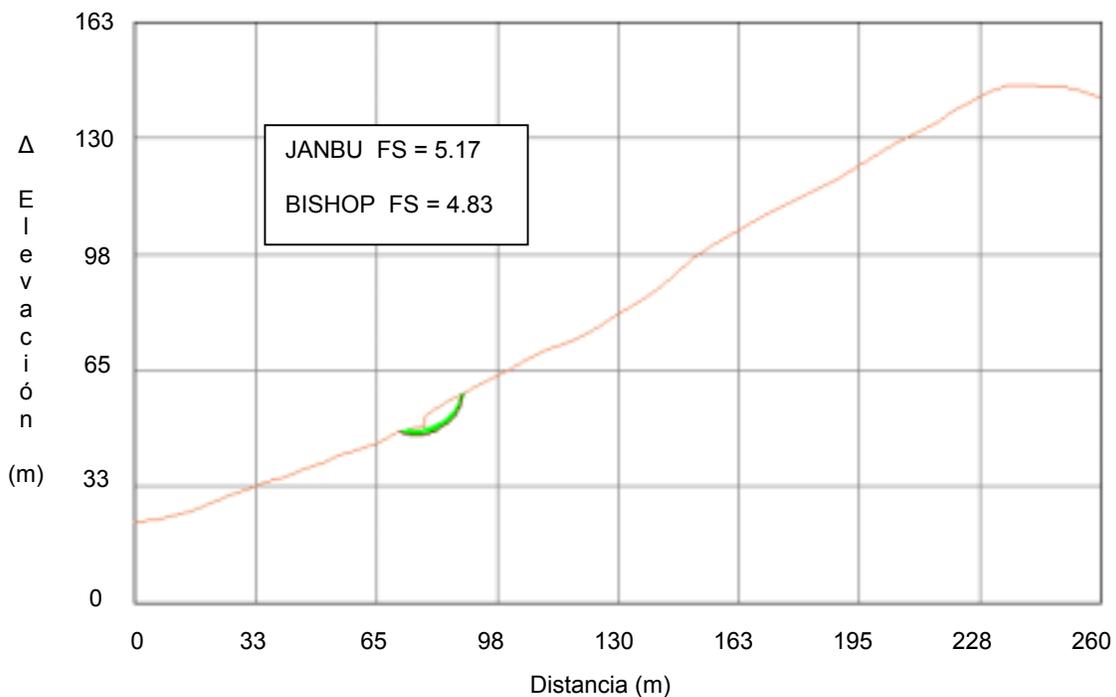


Figura 3.18: Superficie de falla propuesta No 1

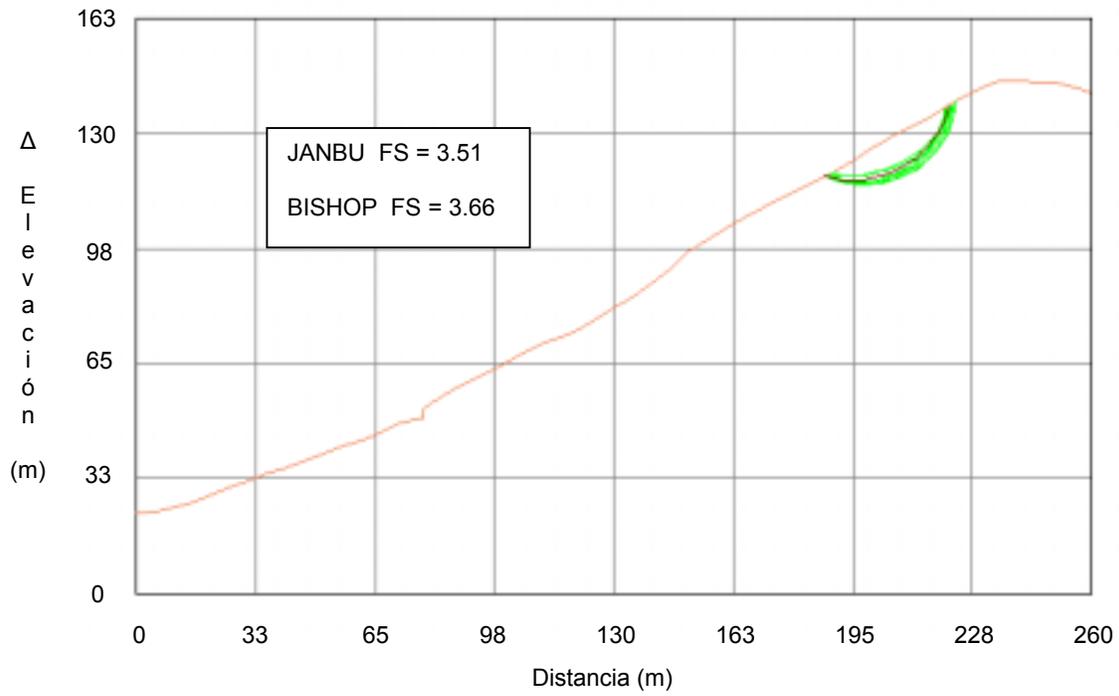


Figura 3.19: Superficie de falla propuesta No 2

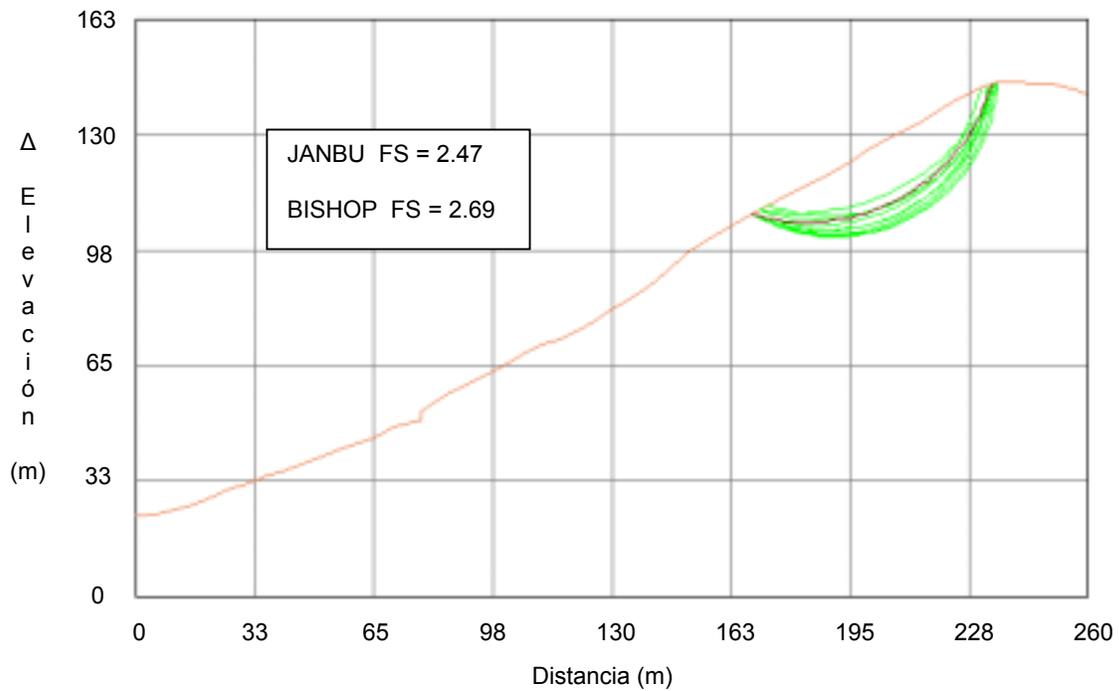


Figura 3.20: Superficie de falla propuesta No 3

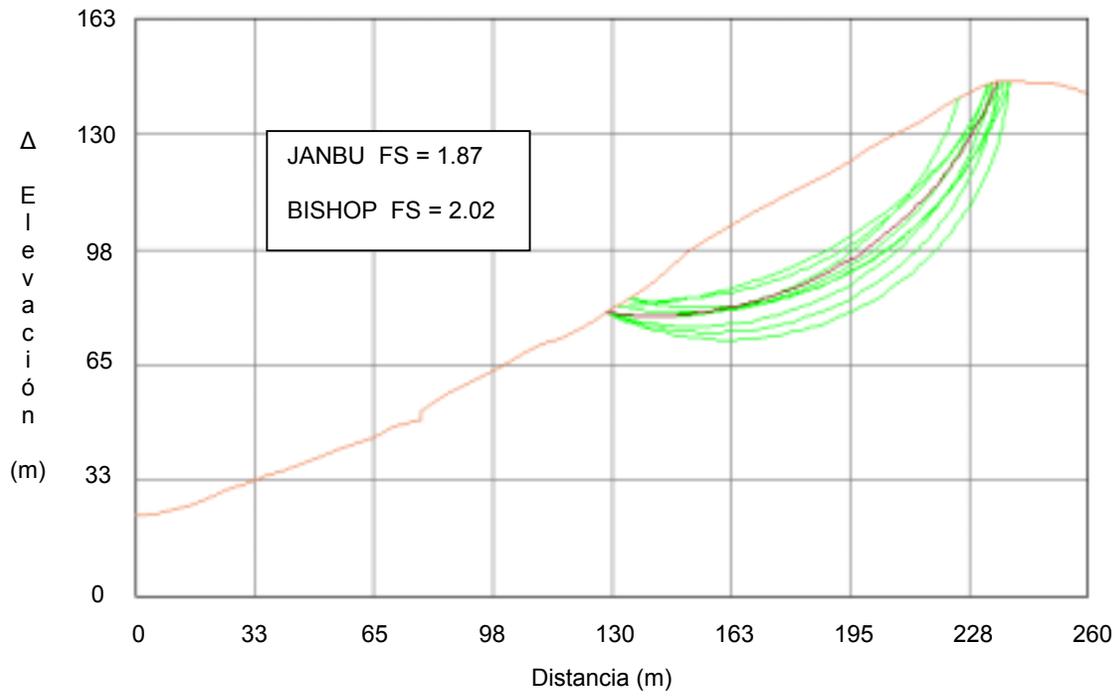


Figura 3.21: Superficie de falla propuesta No 4

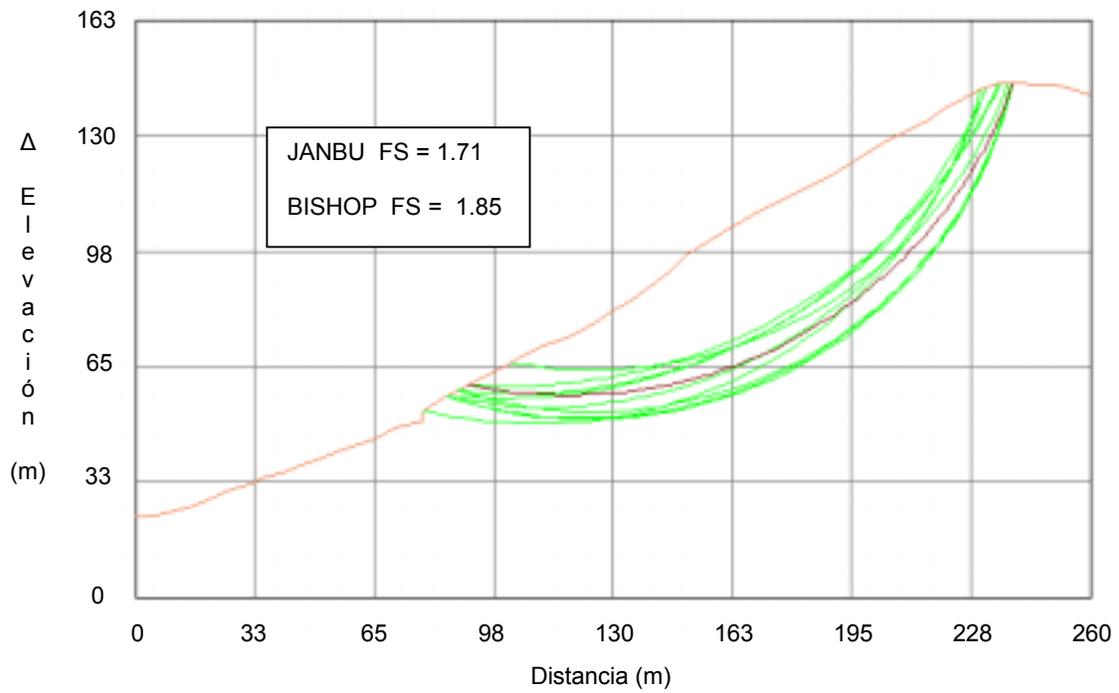


Figura 3.22: Superficie de falla propuesta No 5

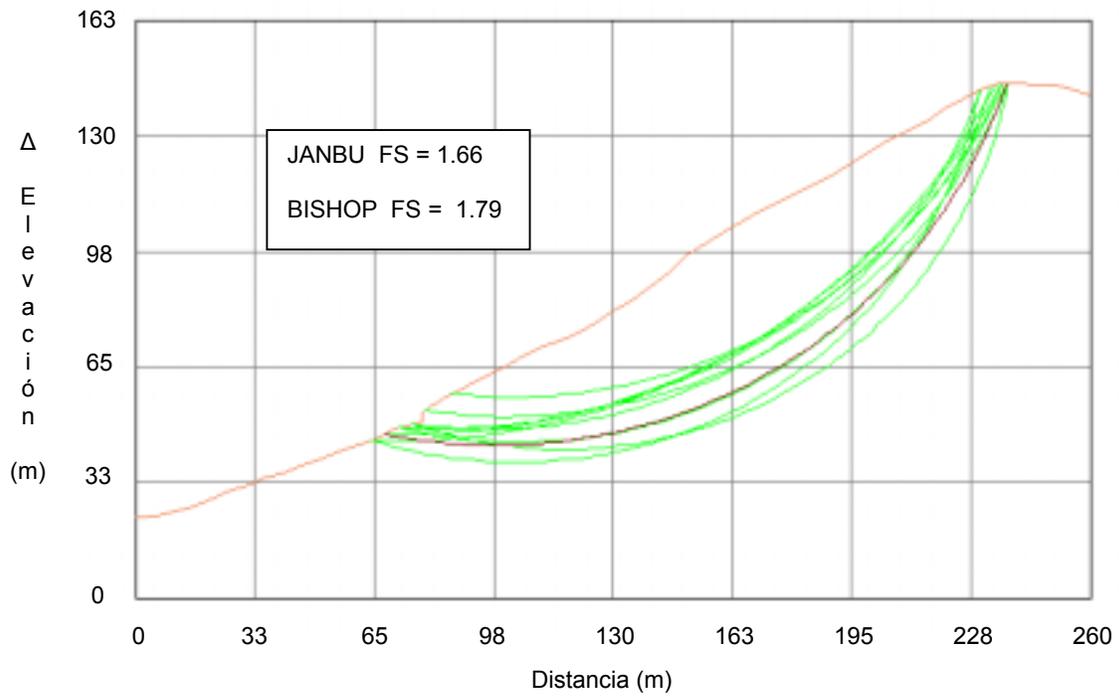


Figura 3.23: Superficie de falla propuesta No 6

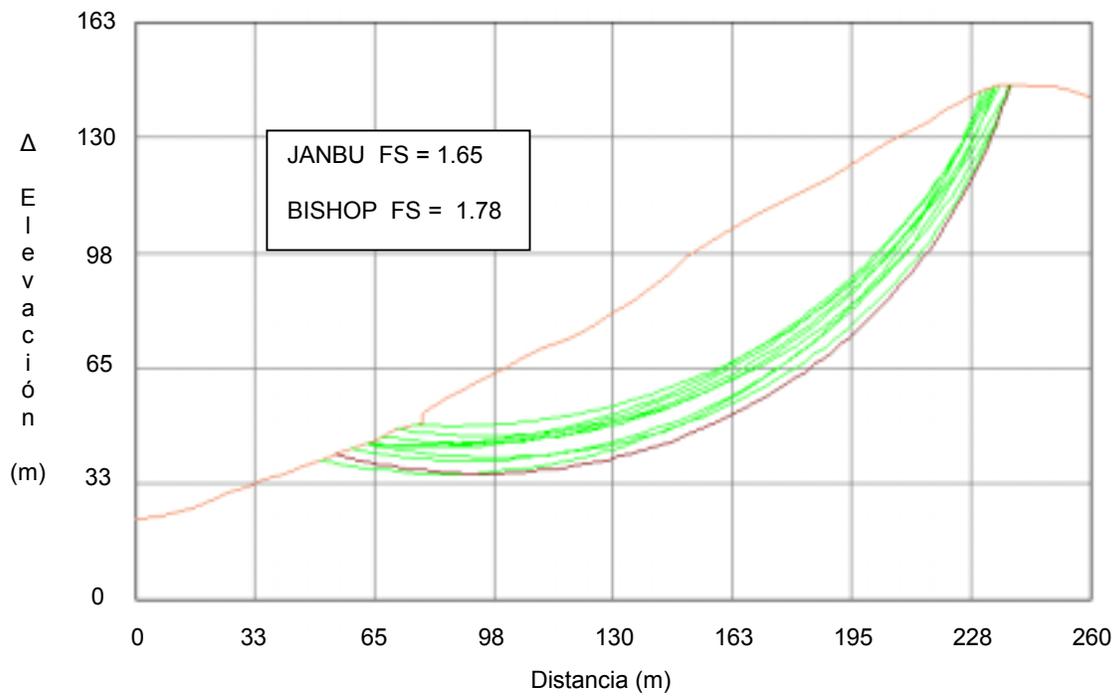


Figura 3.24: Superficie de falla propuesta No 7

De las superficies de falla analizadas, se obtuvieron distintos valores de factor de seguridad, siendo el más desfavorable el del círculo de falla No 7 en el cual se obtuvo un factor de seguridad de 1.65 y 1.78, según Janbu y Bishop respectivamente. Ver tabla 3.7

Tabla 3.7. Resumen de factores de seguridad

Círculo de falla	F.S. por Método de Janbu	F.S. por Método de Bishop
1	5.17 > 1.5 E	4.83 > 1.5 E
2	3.51 > 1.5 E	3.66 > 1.5 E
3	2.47 > 1.5 E	2.69 > 1.5 E
4	1.87 > 1.5 C	2.02 > 1.5 C
5	1.71 < 1.5 C	1.85 > 1.5 C
6	1.66 > 1.5 C	1.79 > 1.5 C
7	1.65 > 1.5 C	1.78 > 1.5 C

E = Estable; **I** = Inestable; **C** = Condiciones críticas

3.3.2 Condición de estabilidad de la ladera.

De acuerdo a los factores desencadenantes expuestos en el diagnóstico del proyecto, tales como obras de drenaje existentes, alteración de la ladera y condiciones hidrológicas, también es imperativo conocer los factores condicionantes de la ladera por lo que se realizó una análisis de estabilidad de la misma, mediante métodos numéricos y las propiedades de suelo y subsuelo de la ladera.

En base a los resultados del estudio de estabilidad de la ladera y caracterización geomecánica de la ladera se puede observar:

1. El factor de seguridad calculado para las distintas superficies de falla es mayor que 1.5, por lo cual la ladera se considera estable².
2. Las características mecánicas de los materiales encontrados en la zona de estudio, favorecen las condiciones de estabilidad de la ladera, ver tabla 3.5. Sin embargo debido a los resultados obtenidos en el diagnóstico del

² Mecánica de suelos. Tomo II. Juárez Badillo-Rico Rodríguez. Cap V. Pag 271.

proyecto y en vista de que el presente estudio es a corto plazo es necesario la implementación de obras de mitigación.

CAPITULO IV
DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION
Y MITIGACION DE RIESGO

4.0 INTRODUCCION

Después de estudiar el talud, definir los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizar los factores de equilibrio, se procede a diseñar el sistema de prevención, control y/o estabilización de la ladera.

En este capítulo se presenta la solución a la problemática encontrada en la zona de estudio, mediante el diseño de obras de ingeniería. Consecuentemente se propondrá la medida técnica y económicamente aplicable al problema objeto de todo el presente estudio.

4.1 OBJETIVO

El objetivo principal es establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. La eliminación total de los problemas no es posible mediante métodos preventivos en todos los casos, por esto se requiere establecer medidas de control para la estabilización de taludes susceptibles de sufrir deslizamientos.

4.2 METODOS PARA DISMINUIR Y/O ELIMINAR EL RIESGO

Dentro de estos métodos existe una clasificación de acuerdo al ordenamiento territorial, preventivas, antes de la ejecución del proyecto; y correctivas, es decir una vez ya realizado el proyecto de ingeniería que cause la inestabilidad en una ladera. Entre estos métodos tenemos los siguientes:

4.2.1 Métodos de Prevención de la Amenaza o el Riesgo

- Aviso y alarma: las áreas propensas a deslizamientos pueden instrumentarse para prevenir o avisar sobre la ocurrencia de un fenómeno y pueden establecer programas de información a la comunidad que consisten en sistemas de monitoreo y alarma.
- Políticas de disuasión: programas de información pública, negación de los servicios públicos, impuestos, entre otros.
- Regulación del uso de la tierra: el Estado puede prohibir usos específicos u operaciones que puedan causar falla de taludes, tales como la construcción de carreteras, edificios, etc.

- Códigos técnicos: Elaboración de códigos específicos para el manejo de taludes, en los que se especifican los parámetros técnicos para el diseño y construcción de obras de estabilización.

4.2.2 Métodos de corrección de taludes susceptibles a deslizamientos

- Variantes o relocalización del proyecto: en muchas ocasiones puede resultar más ventajoso modificar el proyecto para evitar la zona problema.
- Estabilización o corrección del talud o ladera.

La estabilización del talud comprende los siguientes factores:

1. Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización mas apropiados, según las características del talud.
2. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
3. Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

Entre los métodos de estabilizar un talud están los siguientes

Conformación del Talud o Ladera

Sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen movimiento, mediante conformación topográfica. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes: *remoción de materiales en la cabeza del talud, disminución de la pendiente, terraceo de la superficie*

Recubrimiento de la Superficie

Métodos que tratan de impedir la infiltración debido a la lluvia y mantener el suelo parcialmente seco. El recubrimiento puede ser con impermeabilizantes como el concreto o elementos que refuercen la estructura superficial del suelo como la cobertura vegetal. Estos métodos son: *recubrimiento de la superficie del talud, sellado de grietas superficiales, sellado de juntas y discontinuidades, cobertura vegetal.*

Control de Agua Superficial y Subterránea

Sistemas que controlan al agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. Entre ellos se tienen: *Canales superficiales para control de escorrentía, subdrenes en zanja, galerías de subdrenaje, pozos profundos de subdrenaje.*

Estructuras de Contención

Métodos en que se colocan fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes, Estos son: *muros de contención a base de mampostería, muros de contención a base de gaviones, anclajes y pernos, mallas ancladas.*

Mejoramiento del Suelo

Métodos que aumentan la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y/o la fricción de la mezcla suelo-producto estabilizante o del suelo modificado. Los cuales son: *inyección de químicos, restitución de suelo.*

En el presente estudio se propondrán medidas correctivas específicamente control de agua superficial, conformación de la ladera y recubrimiento de la superficie, posteriormente se presenta el detalle de estas obras aplicadas a la problemática que trata este trabajo.

4.3 CRITERIOS DE DISEÑO

Para establecer la medida de mitigación adecuada para el mejoramiento de la estabilidad de la ladera se deben tomar en cuenta aspectos que están directamente relacionados con el diseño de las obras; estos aspectos son los siguientes.

4.3.1 Factor de seguridad de la ladera

Según los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de la ladera, existen 4 superficies de falla cuyo factor se encuentra apenas arriba de 1.5 por lo que fueron consideradas como críticas. Este aspecto es muy importante para

determinar el tipo y magnitud obra a implementar; incluso es base fundamental para decidir si existe la necesidad de evacuar la zona habitacional que se encuentre en riesgo. Para este caso no se planteará la evacuación de los habitantes, ya que aunque las condiciones son críticas, la ladera sigue siendo estable, esto si no se alteran las condiciones actuales de la zona.

4.3.2 Propiedades de suelo

El tipo de material existente en el subsuelo de la zona de estudio es resistente, impermeable y con resistencia al esfuerzo cortante, es importante mencionar que estas características del suelo corresponden únicamente al área objeto de estudio y no al cerro Santa Lucia en su totalidad, Dichas propiedades nos hacen concluir que el subsuelo de ladera en estudio es estable y poco susceptible a deslizamiento. Sin embargo el análisis de estabilidad realizado sobre la geometría actual de la ladera indica que ésta se encuentra en condiciones críticas, ocasionando un riesgo sobre los habitantes al pie de la ladera. Esto debido a la modificación de la geometría natural de la ladera.

4.3.3 Topografía

La topografía de la ladera es un criterio importante y determinante cuando se pretende implementar obras de mitigación. Para la solución de la presente problemática, se plantea conformar las pendientes del terreno tomando como valor limite superior el ángulo de reposo del suelo encontrado en la prueba triaxial realizada; esto para garantizar que la resistencia al esfuerzo cortante del suelo no sea sobrepasada. Otro aspecto en el que la topografía jugara un papel importante es en lo volúmenes de tierra que serán necesario mover, para conservar una topografía favorable a la estabilidad de la ladera.

4.3.4 Económico

Este criterio es importante aunque no determinante en el diseño de las obras, ya que si bien una obra debe ser técnica y económicamente factible, el objetivo primordial de la realización de estas obras es disminuir y/o eliminar el riesgo de los habitantes.

4.4 OBRAS PROPUESTAS

4.4.1 Corrección de la ladera

Para disminuir el riesgo existente, se plantea la conformación de la ladera, de tal manera que las pendientes sean menores que el ángulo de fricción interna del suelo. Cada pendiente estará separada por su respectiva berma, que para el presente caso será de 5.0 metros. Valor que ha sido dado tomando en cuenta el ancho de la canaleta que se proyecta sobre la berma y la pendiente que se conformará. En el anexo 13 se muestran los perfiles del terreno con las obras de protección propuestas.

4.4.2 Corrección por drenaje superficial

Uno de los problemas que se deben de solucionar es el mal drenaje que existe en la zona que ha sido alterada al pie de la ladera en estudio. Para dar solución a este problema se proyecta la construcción de obras de drenaje superficial tales como canales abiertos revestidos de concreto, cajas y pozos conectores y tuberías conductores. A continuación se presenta el diseño de estas obras.

A. Canaletas de drenaje

Para calcular las dimensiones se utilizan las siguientes ecuaciones. Ver figura 4.1:

$$Q = C \times I \times A \quad (4.1)$$

$$H = d + r \quad (4.2)$$

$$B = b + 2 \times Z \times H \quad (4.3)$$

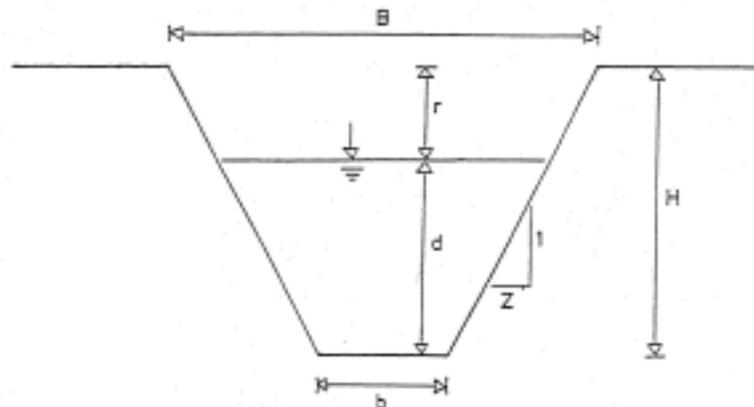


Figura 4.1: Sección trapezoidal del canal

$$((Q \times n) / So^{1/2})^3 = (b \times d + Z \times d^2)^5 / (b + 2 \times d \times (1 + Z^2)^{1/2})^2 \quad (4.4)$$

Donde:

- Q = Caudal de drenaje (m³/s)
- b = Base (m)
- d = Tirante hidráulico (m)
- Z = Talud de la pared (adimensional).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional).
- S = Pendiente de la rasante (m/m).
- H = Profundidad de la zanja (m).
- r = Altura libre (m).
- B = Ancho superior de la zanja (m).

Al realizar el cálculo, son conocidos los siguientes valores:

- Q : Calculado de acuerdo a un estudio hidrológico y de precipitaciones.
- n : Coeficiente Manning de tubo de concreto.
- S : Se obtiene en el plano topográfico, o se asume.
- Z : Se obtiene del Cuadro 4.1.

Para calcular d y b, debe asumirse un valor para alguno de estos parámetros, y calcular el otro iterando en la ecuación. De la ecuación se obtiene el valor “d”, y posteriormente se calculan las demás dimensiones de la canaleta

Tabla 4.1. Talud Z para Canales abiertos

Material de excavación	Z
Roca firme	0,25
Hard-pan duro. Roca con fisuras	0,5
Grava cementada. Arcilla y Hard-pan ordinario	0,75
Arcilla con grava. Suelos francos	1
Limo arcilloso	1
Suelos francos con grava	1,5
Suelos franco-arenosos	2
Suelos muy arenosos	3

Fuente: Ven te chow

Como anteriormente se explicó se han proyectado bermas de 5.0 metros de ancho que separan los taludes que se conformarán. Dentro de estas bermas se ha proyectado la construcción una canaleta por berma cuyas dimensiones se calcularán en base al caudal tributario que estas recogen, es decir el % del caudal total de la cuenca que le corresponde a cada canaleta. La Cuenca total analizada que aparece en la figura 2.10 del capítulo 2 tiene un área de 71,991.28 m². De esta área total de la cuenca el 61.03 % pertenece al área de influencia de las dos canaletas. Las canaletas se ha serán dispuesta de forma que drenen el agua en dos direcciones repartiéndose así el caudal que estas recogen. Por lo que se tiene que el área tributaria de diseño para las canaleta tipo 1 en las dos direcciones será de 12584.68 m² y para la canaleta tipo 2 será de 20868 m², ver figura 4.2.

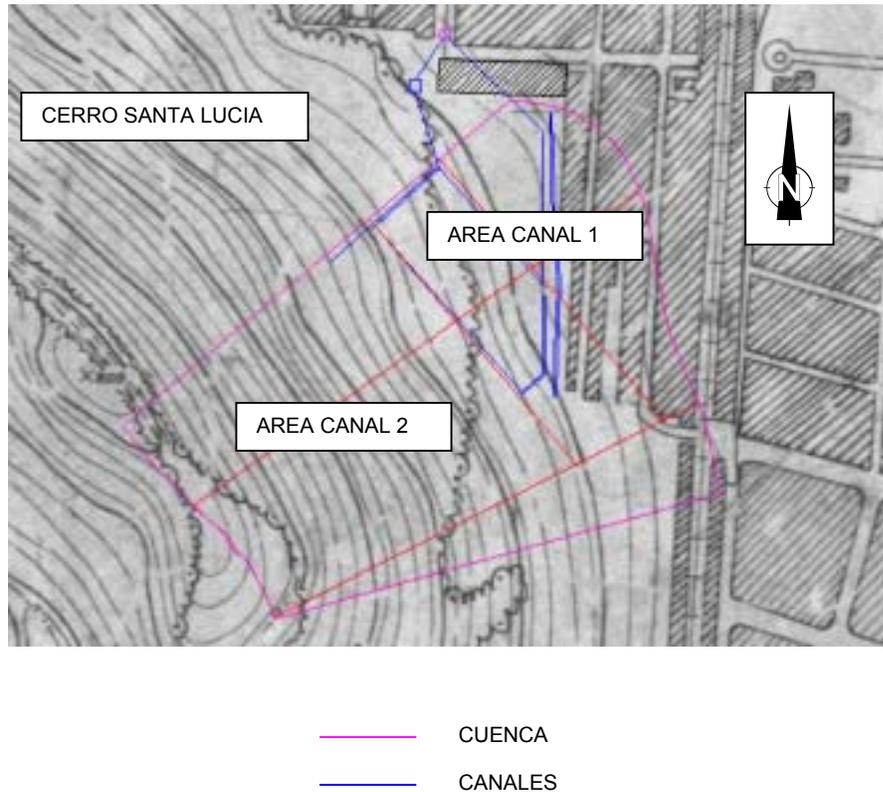


Figura 4.2: Escorrentía superficial que le corresponde a cada canaleta

Se requiere calcular las dimensiones del canal de drenaje, considerando los siguientes antecedentes:

$$\text{Caudal (Q)} = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pendiente del suelo} = 2\%$$

$$n = 0.013$$

$$z = 1$$

$$b = 0.5 \text{ m}$$

Solución:

Seleccionamos $n = 0,013$ para canal de concreto..

Como pendiente del dren asumimos la misma del terreno.

Seleccionamos $Z = 1$, por suelo limo arcilloso, según tabla 4.1.

Asumimos $b = 0,5 \text{ m}$, por construcción manual.

Aplicamos estos valores en la fórmula (4.4):

$$\left(\frac{Q \times n}{S_o^{1/2}}\right)^3 = \frac{(b \times d + Z \times d^2)^5}{(b + 2 \times d \times (1 + Z^2)^{1/2})^2}$$

Obtenemos:

$$\left(\frac{0,24 \times 0,013}{(0,02)^{1/2}}\right)^3 = \frac{(0,5 \times d + 1 \times d^2)^5}{(0,5 + 2 \times d \times (1 + 1^2)^{1/2})^2}$$

$$1.073\text{E}-5 = \frac{(0,5 \times d + d^2)^5}{(0,5 + 2 \times d \times 2^{1/2})^2}$$

Para calcular el parámetro d , se calculo mediante solución numérica probando sucesivamente diferentes valores, hasta obtener el valor más cercano a $1.073\text{E}-5$, lo que en este caso se consigue con $d = 0.15 \text{ m}$.

$$\text{La profundidad total } H = d + r = 0.15 + 0.3 = 0.45 \text{ m.}$$

$$\text{El ancho superior } B, \text{ entonces es igual a } B = 0.5 + 2 \times 1 \times 0.45 = 1.4 \text{ m.}$$

Para el cálculo las dimensiones de la canaleta tipo 2, se consideran los siguientes antecedentes:

$$\text{Caudal (Q)} = 0.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pendiente del suelo} = 2\%$$

$$n = 0.013$$

$$z = 1$$

$$b = 0.5 \text{ m}$$

Solución:

Seleccionamos $n = 0,013$ para canal de concreto..

Como pendiente del dren asumimos la misma del terreno.

Seleccionamos $Z = 1$, por suelo limo arcilloso, según el tabla 4.1.

Asumimos $b = 0,5 \text{ m}$, por construcción manual.

Aplicamos estos valores en la fórmula:

$$\left(\frac{Q \times n}{S_o^{1/2}}\right)^3 = \frac{(b \times d + Z \times d^2)^5}{(b + 2 \times d \times (1 + Z^2)^{1/2})^2}$$

Obtenemos:

$$\left(\frac{0,24 \times 0,013}{(0,02)^{1/2}}\right)^3 = \frac{(0,5 \times d + 1 \times d^2)^5}{(0,5 + 2 \times d \times (1 + 1^2)^{1/2})^2}$$

$$4.971\text{E}-5 = \frac{(0,5 \times d + d^2)^5}{(0,5 + 2 \times d \times 2^{1/2})^2}$$

Para calcular el parámetro d , se calculo mediante solución numérica probando sucesivamente diferentes valores, hasta obtener el valor más cercano a $1.073\text{E}-5$, lo que en este caso se consigue con $d = 0.2 \text{ m}$, lo cual se comprueba a continuación:

$$\text{La profundidad total } H = d + r = 0.2 + 0.3 = 0.5 \text{ m.}$$

El ancho superior B , entonces es igual a $B = 0.5 + 2 \times 1 \times 0.5 = 1.5 \text{ m}$. En el anexo 14 aparece la disposición en planta de las canaletas.

Posteriormente complementariamente se procedió a verificar el canal mediante el cálculo del nivel de aguas máximas y el dibujo de la curva de descarga, obteniendo un valor para el canal de la berma 1 0.15 metros. Como se puede observar coincide con el dato encontrado en el diseño del canal trapezoidal. Esto indica que la sección propuesta para el canal tipo 1 satisface el drenaje. La Canaleta de la berma 2 también coincide con el valor de 0.2 obtenido el diseño de dicho canal. Los detalles constructivos y el cálculo de la curva de descarga aparecen en el Anexo 15.

B. Cajas de conexión

La recolección del agua drenada por estas canaletas se realizara con cajas ubicadas al final de las canaletas (ver anexo 14), y posteriormente conducirá el flujo a los pozos ya existentes. El dimensionamiento de las cajas se hizo en base al caudal que llega a la caja y al tiempo de retención en ella. Para el caso el caudal de diseño será el mismo que para las canaletas y el tiempo de retención se considera inmediato 30 seg.

- Para la caja tipo 1 $Q = 0.24 \text{ m}^3/\text{seg}$; $t = 5 \text{ seg}$

Volumen de diseño es: 1.2 m^3

La caja tipo 1 tendrá las siguientes dimensiones:

Largo = 1.2 m; Ancho = 1.2 m y profundidad de 1 m.

- Para la caja tipo 2 $Q = 0.39 \text{ m}^3/\text{seg}$; $t = 5 \text{ seg}$.

Volumen de diseño es: 1.95 m^3

La caja tipo 2 tendrá las siguientes dimensiones

Largo = 1.2 m; Ancho = 1.2 m y profundidad de 1.2 m. El detalle constructivo de ambas cajas se muestra en el anexo 16.

C. Tubería para la conducción del flujo

Para el dimensionamiento de la tubería se obtendrá un diámetro mediante la ecuación de Manning modificada:

$$Q = 1/n R h^{2/3} S^{2/3} A h$$

$$\text{Diámetro en pulgadas} = \left(\frac{4 Q n (4^{2/3})}{\pi \sqrt{S}} \right)^{3/8} \times 39.4$$

Donde:

Q = Caudal en metros

n = coeficiente "n", de Manning para tubo de concreto

s = pendiente del tubo en decimales

En el terreno ya existe un tubería que se encuentra en el sector este, el cual se evaluó en el capítulo 2 resultando que no es suficiente para drenar el agua recogida por las cajas. Por ello se implementará una batería, que no es mas que la colocación de una tubería paralela a la que ya existe para que cumpla con la solicitud del caudal. Para las demás conducciones necesarias se propone un diámetro de tubería de acuerdo al caudal que éstas recogen. En el anexo 14 aparece la distribución de dichas tuberías.

4.4.3 Evaluación del factor de seguridad con las medidas mitigantes.

Después de la implementación de las obras de protección se procedió a calcular el factor de seguridad para comprobar la efectividad de ellas. Este cálculo se realizó mediante el método Janbu aplicado en el capítulo 3. Los resultados de este análisis se presentan a continuación.

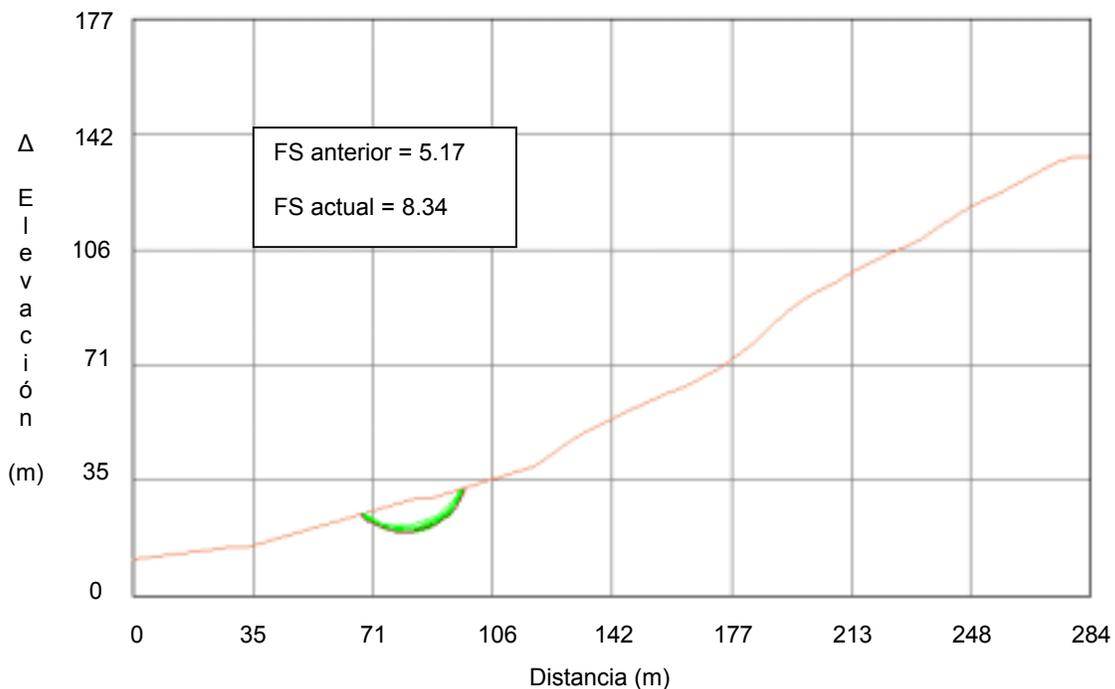


Figura 4.3: Factor de seguridad de superficie de falla 1

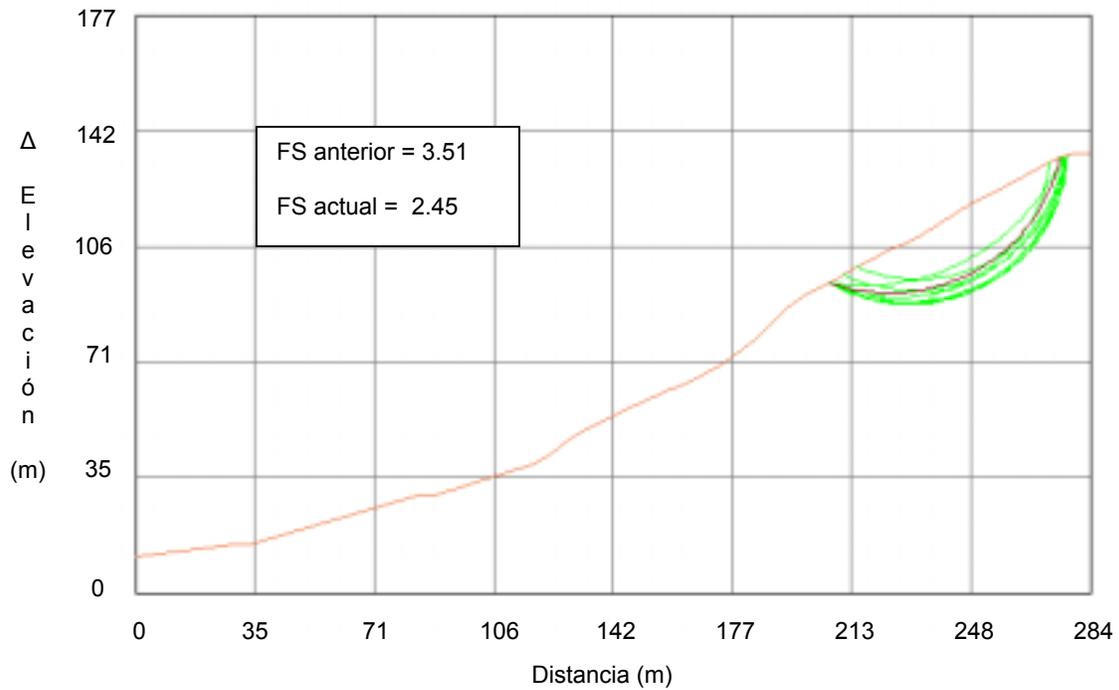


Figura 4.4: Factor de seguridad de superficie de falla 2

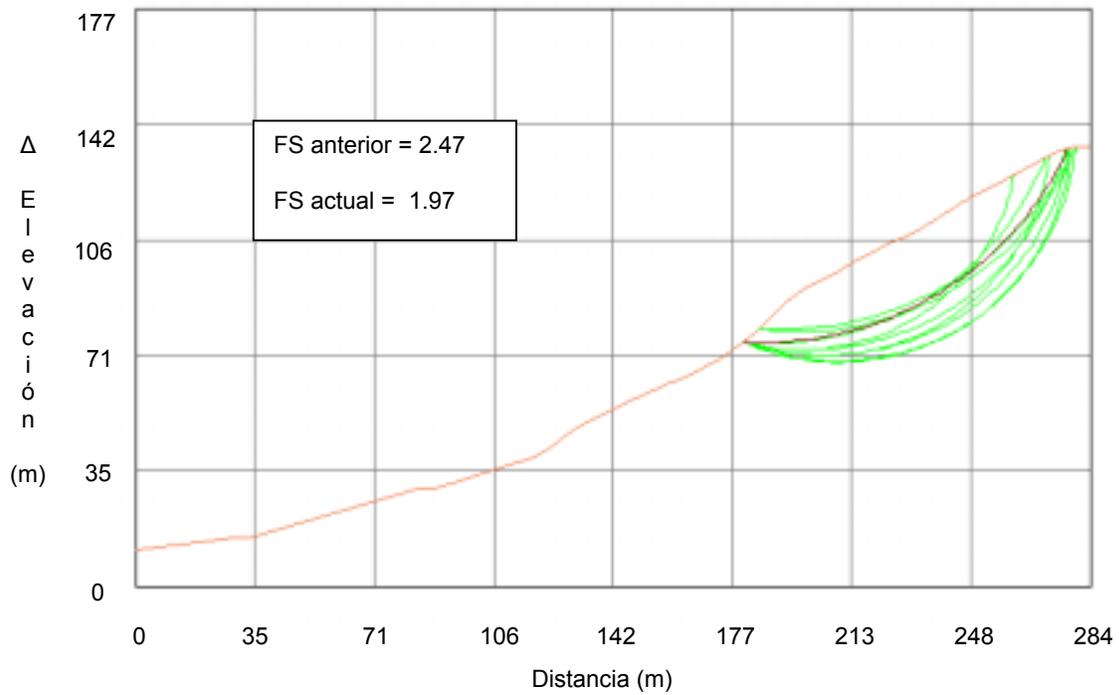


Figura 4.5: Factor de seguridad de superficie de falla 3

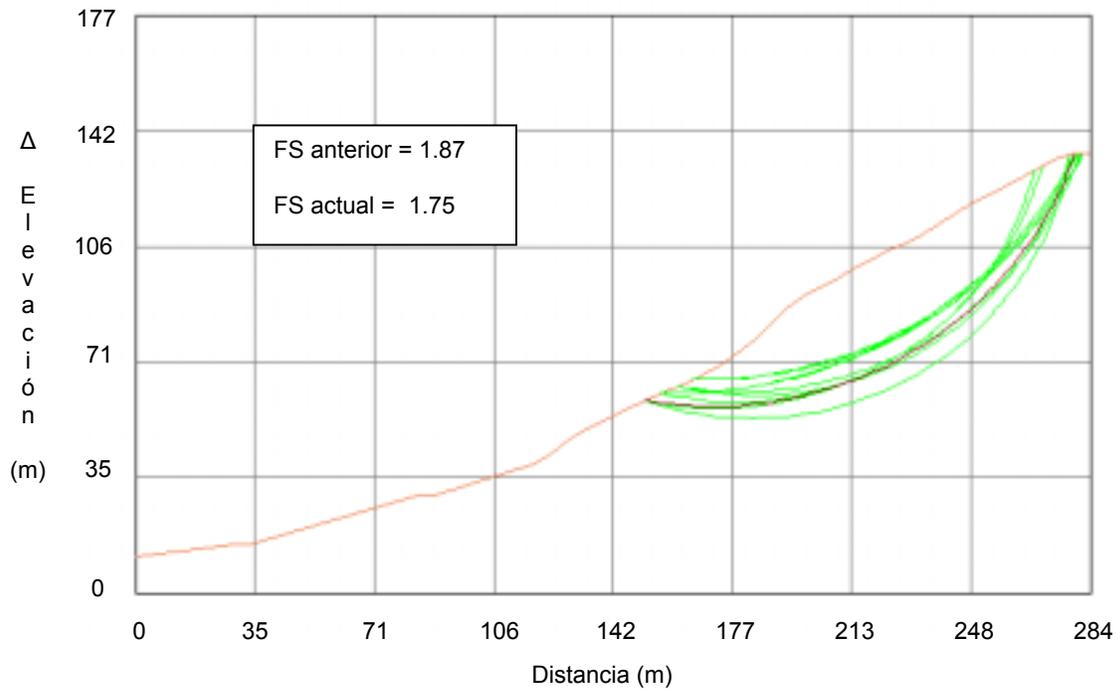


Figura 4.6: Factor de seguridad de superficie de falla 4

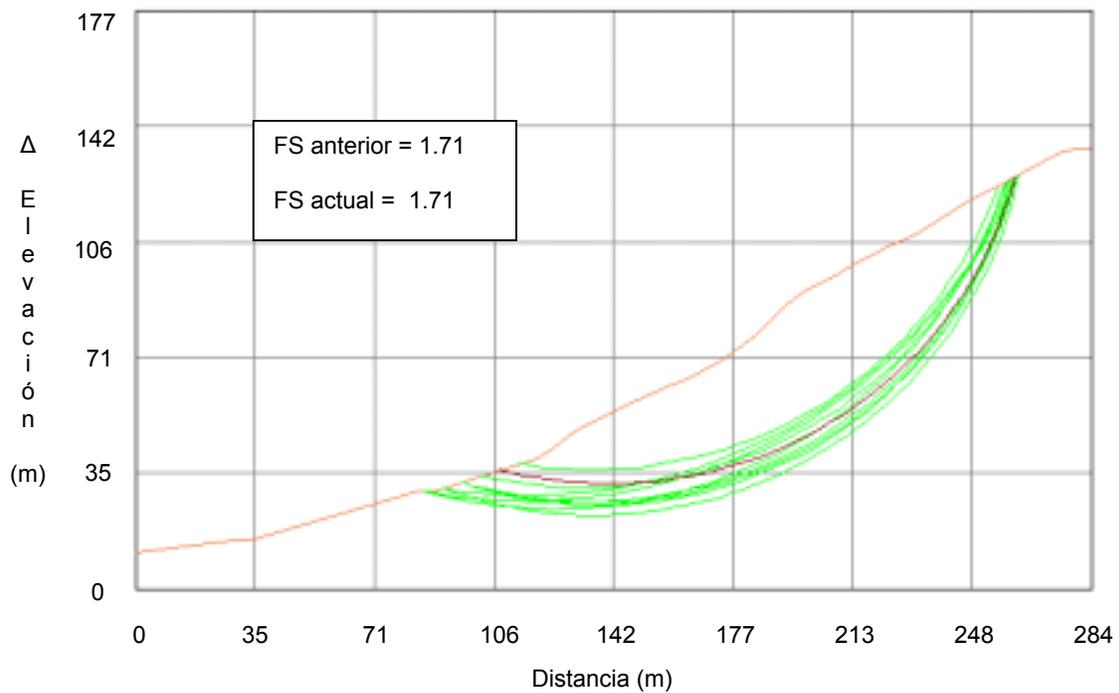


Figura 4.7: Factor de seguridad de superficie de falla 5

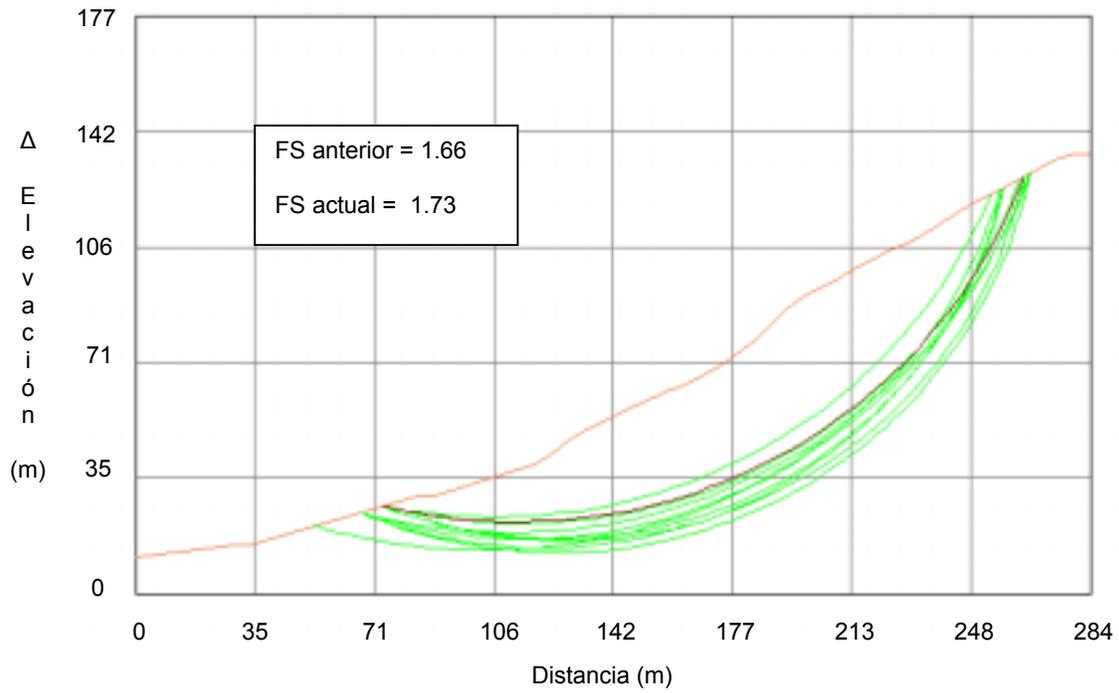


Figura 4.8: Factor de seguridad de superficie de falla 6

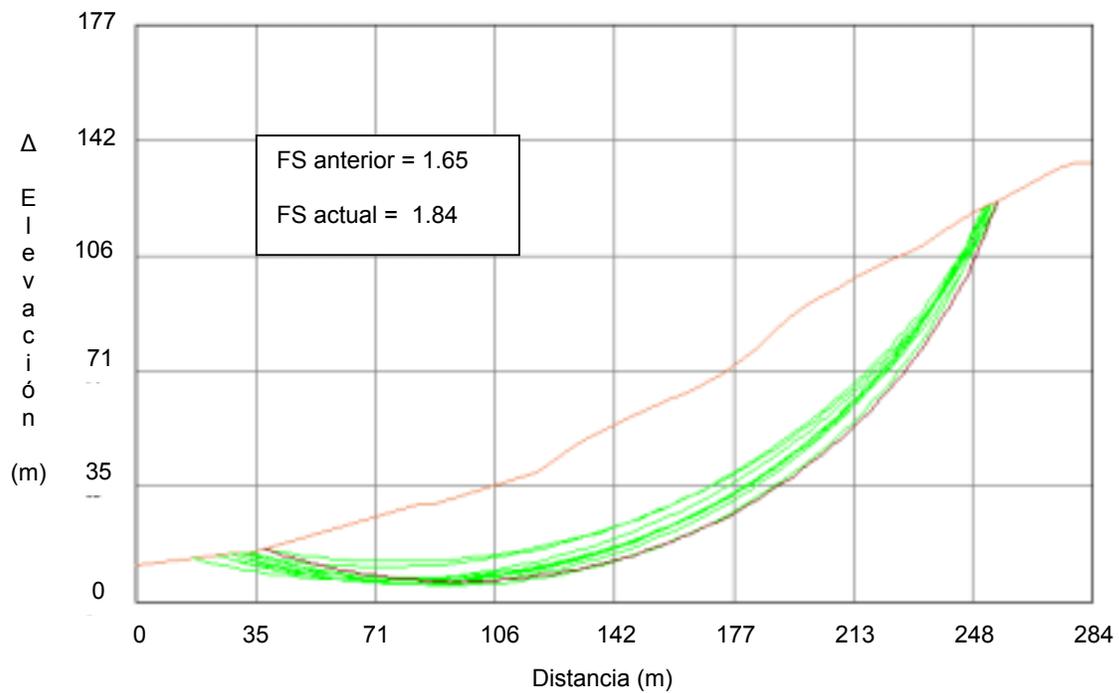


Figura 4.9: Factor de seguridad de superficie de falla 7

Como puede observarse existen ciertos círculos de falla en los que el factor de seguridad se redujo, como lo es por ejemplo la del círculo número 2. Sin embargo hay que notar que en ningún caso se obtuvo un factor de seguridad menor que 1.50 y que en los círculos que se consideraban críticos como los son el 6 y el 7, el factor de seguridad se incrementó. En conclusión se puede decir que la condición de estabilidad ahora es constante y mayor a los valores críticos en todos los círculos de falla propuestos.

CAPITULO V
FICHA TECNICA Y ECONOMICA
DEL PROYECTO

5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto comprende la construcción de obras de mitigación contra riesgo por deslizamiento de suelos en la ladera del Cerro Santa Lucia, específicamente en la zona sur-poniente de la Colonia Altos de Santa Lucía, Ciudad de Santa Ana. El área donde se proyecta la construcción de dichas obras se encuentra en la intersección del final Calle José Mariano Méndez, poniente y el final de la Avenida Contexa y consta de una área de 43312.72 m²., que se extiende hasta la cima del Cerro Santa Lucia.

Las obras comprenden la terracería de la ladera para garantizar que las pendientes sean suaves, siendo estas del 21 a 33 %. Además se contempla la construcción de canales y pozos para el buen drenaje de la escorrentía superficial que se genera en la ladera. Básicamente se trata de dos tipos de canaletas de sección constante, la instalación de una batería a un costado de la tubería existente y la construcción de cajas de conexión.

5.2 OBJETIVO DE PROYECTO

Con la implementación de las obras de mitigación propuestas, se busca mejorar y conservar las condiciones de estabilidad de suelos que se encuentran presentes en las laderas del Cerro Santa Lucía, esperando con ello, mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la zona residencial aledaña al pie del cerro.

Con la ejecución del proyecto se reducirán los riesgos de inundación, de erosión y por ende los de deslizamientos de suelo.

5.3 CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PROYECTO

A continuación se presentan las cantidades de obra a realizar como parte del proyecto:

1. Se proyecta la construcción de 266.97 metros lineales de tubería tipo Riblock de 18", instaladas para conformar la batería en los puntos donde el drenaje es insuficiente.
2. Existen tres tipos de canaletas de drenaje, las cuales tienen una sección trapezoidal Para la canaleta tipo 1 se proyectan 449.73 metros lineales y

para la tipo 2, 264.80 metros lineales. Con lo cual se pretende encausar la escorrentía superficial que se genera en nuestra área de estudio.

3. Parte del sistema de drenaje son las cajas de conexión las cuales son 2 ubicadas al final de las canaletas. Estas conducen el agua hacia la tubería de 18 plg.

5.4 CARACTERISTICAS FINANCIERAS DEL PROYECTO

Para la ejecución del proyecto, se estima que es necesario realizar una inversión de \$ 113, 826.89. En la tabla 5.1, se detalla el costo de cada una de las actividades a ejecutar; además en el anexo 17 se detallan los costos correspondientes a cada una de las obras a construir.

Tabla 5.1. Presupuesto de obras de mitigación propuestas

ACTIVIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD DE OBRA	COSTO TOTAL (\$)
Canaleta de drenaje tipo 1	ml	13.49	449.73	6066.86
Canaleta de drenaje tipo 2	ml	14.97	264.80	3964.06
Tubería drenaje	ml	20.94	266.97	5590.35
Movimiento de tierra	m ³	2.02	28888.43	58354.63
Acarreo de material	m ³	4.11	9640.81	39623.73
Cajas de mampostería	c/u	113.63	2	227.26
			TOTAL	\$ 113, 826.89

5.5 CONCLUSIONES

- Las condiciones naturales de la ladera han sido alteradas, lo que ha traído como consecuencia la vulnerabilidad del medio ante los factores ambientales, lo que afecta negativamente la estabilidad de la ladera.
- Las fuertes pendientes encontradas y la falta de vegetación en la zona de estudio son factores que han generado procesos erosivos en el suelo donde se realizó la terracería, lo que produce las condiciones que favorecen la inestabilidad de la ladera.
- El caudal que se genera en el área de estudio es tal que el drenaje encontrado no es suficiente para drenar la escorrentía superficial, lo que produce infiltración en el subsuelo. Esto trae como consecuencia lo siguiente: aumento en el peso de la masa de suelo e inundación en las viviendas que colindan con la ladera; condiciones que elevan el riesgo a deslizamiento.
- De acuerdo a las pruebas de suelos realizadas y en base a las condiciones en que actualmente se encuentra la ladera se determina que no existe un riesgo de deslizamiento inminente, pero si éstas se alteran la estabilidad de la ladera podría ser afectada.
- Para mantener la estabilidad de la ladera es necesario construir obras de mitigación que conserven las condiciones de impermeabilidad y la topografía de la zona de estudio.

5.6 RECOMENDACIONES

- En el caso de proyectar la urbanización del área de estudio, es necesario realizar estudios de suelos y de estabilidad de laderas, considerando todas las variables que un proyecto de esta magnitud involucra.
- El presente estudio tiene como alcance la evaluación de la estabilidad, y al diseño de las obras de mitigación, tomando en cuenta las condiciones en las que actualmente se encuentra la ladera, por lo que de ninguna manera éste puede tomarse como base para justificar la construcción de edificaciones sobre la zona de estudio.
- Es necesario que se realice una zonificación de las áreas potencialmente urbanizables teniendo como base estudios de este tipo, e incluso de mayor magnitud para evitar tragedias como la ocurrida en la Residencial “Las Colinas”.
- Se recomienda la construcción del drenaje propuesto en el presente trabajo para garantizar una adecuada evacuación de la escorrentía superficial. Así como también la conformación de la ladera propuesta para el aumento de la estabilidad de esta.
- Sería beneficioso la implementación de un proceso de reforestación en la zona, ya que contribuiría al aumento de la estabilidad de la ladera, además de generar un efecto paisajístico agradable a los habitantes de la colonia.

GLOSARIO

Macizo rocoso: Forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Un macizo rocoso está compuesto por una o varias rocas (litotipos) que a su vez contiene diversas discontinuidades: planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuidades y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas.

Cárcava: Erosión proveniente de pequeños canales llamados surcos, formándose zanjas de gran tamaño con anchos considerables.

Deslizamiento: Acción y efecto de deslizarse un trozo del terreno por efecto de empuje orogénico horizontal o por la acción de gravedad.

Erosión: Se define como el desprendimiento o arrastre del suelo y/o fragmentos de roca por acción del agua, el hielo, el viento, la nieve y la gravedad.

Estratigrafía: Parte de la geología que trata sobre las formaciones, secuencias y correlaciones de la estratificación.

Estrato: Masa mineral en forma de capa, de espesor aproximadamente uniforme, que constituyen los terrenos sedimentarios.

Falla: Ruptura de una superficie de dos o más bloques dislocados por movimientos diferenciales de desplazamientos mas o menos verticales.

Infiltración: La penetración del agua meteórica o superficial por las grietas y espacios vacíos de las rocas del suelo, convirtiéndose *así en agua* subterránea.

Litología: Estudio de la roca basado en la observación megascópica. Puede considerarse sinónimo de petrografía o petrología.

Meteorización: Alteración y destrucción de las rocas por proceso exogenético, que actúa en la superficie y profundiza hasta donde alcanza el efecto oxidante de la atmósfera.

Pendiente: Es la inclinación que se da en un talud o sea la relación que existe entre el corrimiento horizontal y la proporción en que aumenta el corrimiento vertical.

Permeabilidad: Propiedad que presentan en mayor o menor grado casi todas las rocas y que consiste en dejar paso entre sus poros u oquedades al agua y también a otros líquidos.

Pómez: En rigor es espuma de vidrio que debe su aspecto y su estructura celular o cavernosa a la gran cantidad de burbujas de gas que escaparon cuando se solidificó. Su peso específico es menor que el del agua.

Reptación: Al igual que los desprendimientos, es un fenómeno que también presenta síntomas de movimientos en la corteza terrestre. Se manifiesta por la inclinación de los postes de las cercas y otros objetos rígidos similares en posición vertical.

Sismo: Sacudida de la corteza terrestre que se produce a cierta profundidad.

Agua de escorrentía: Es el agua que corre por la superficie del suelo hacia las vaguadas sin cauce fijo.

Limos: Son materiales inertes, poco plásticos y de baja cohesión.

Plasticidad: Es la propiedad que permite al material sufrir deformaciones sin recuperación elástica perceptible y sin resquebrajarse ni desmenuzarse.

Geología: La ciencia o estudio de la tierra y su historia y las rocas registradas.

Hidrología: La ciencia o estudio de las masas de agua igual como la medida de la corriente de los arroyuelos.

Latitud: La distancia angular al norte o sur del ecuador, que se mide en grados a lo largo del meridiano en un mapa o en un globo terráqueo.

Longitud: La distancia angular en la tierra, tal como en un globo terráqueo o un mapa, al este u oeste del meridiano principal en Greenwich, Inglaterra, a la punta de la superficie de la tierra de la longitud que se trata de establecer, se expresa con grados, o en horas, minutos o segundos.

BIBLIOGRAFÍA

- Estabilidad de taludes, Pontificia Universidad Javeriana, Mayo de 2002
- Libro electrónico. Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente. Tema: Riesgos naturales, Deslizamiento de tierra.
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/08RiesgN/140MovTierr.htm#Protección%20contra%20los%20aludes>
- Instituto Tecnológico Geominero de España. Manual de Ingeniería de Taludes. 1ª Edición 1987.
- Martínez, Francisco, Martínez Salvador, Trabajo de Graduación “ Identificación de Riesgos Geológicos en la Ciudad de Santa Ana (Hidrología, Movimientos de suelo, Tectónico, Volcánico) ”. Marzo 2002 Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente.
- Ley del Medio Ambiente de la República de El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ley Forestal de la Republica de El Salvador
- Código de Salud de la Republica de El Salvador
- Código Municipal de la República de El Salvador
- Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y estabilidad de Taludes de la República de El Salvador
- Drenaje en suelos agrícolas, instituto de investigaciones agropecuarias Inia – Carrillanca, Chile 2001

- Estudios de Suelos y Cimentaciones en la Industria de la Construcción, Gordon A. Fletcher, Vermon A. Smoots, Editorial Limusa, 1982
- Mecánica de suelos, Tomo I, II, Juárez – Badillo
- Manual de Hidráulica, Azevedo – Acosta, Editoriales Harla, 1976
- Mecánica de Suelos, Berry – Reid, Editorial McGraw-Hill International, 1993