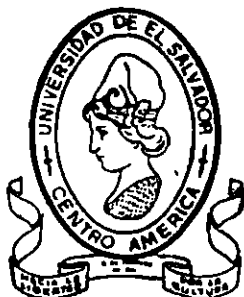


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

T-UES
1501
U48c
1992
Ej. 2



“Criterios y Parámetros Geotécnicos de las
Márgenes del Cauce del Río Acelhuate para
su Protección y Prevención de Riesgos y
Desastres, Determinando Zonas Críticas”.

TRABAJO DE GRADUACION
PRESENTADO POR:

RUBEN ANTONIO UMAÑA INTERIANO
NIDIA IMELDA RAMOS JEREZ.
CESAR AUGUSTO HERNANDEZ FRANCO

15102098

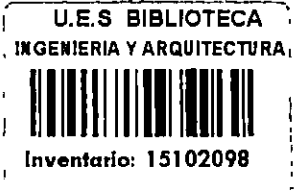
PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL



ENERO 1992

15102098

Rec. Inscr 10/92



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL

LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO EN FUNCIONES

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

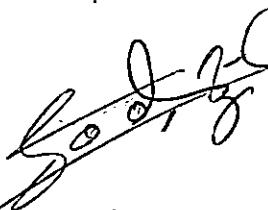
DIRECTOR

ING. VICTOR MANUEL FIGUEROA MORAN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADOR



ING. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ



ASESOR



MSC. ENRIQUE EDGARDO MELARA RUIZ

AGRADECIMIENTOS :

- Al M.S.C. Enrique E. Melara Ruiz.

Un profundo agradecimiento, por su colaboración desinteresada y oportuna, así como sus consejos, como profesor y amigo; por su orientación profesional y dedicación personal para llevar a feliz término la presente investigación.

- Al Ing. Rogelio E. Godínez.

Un especial agradecimiento por sus consejos, orientación y apoyo personal durante el desarrollo de la investigación; como profesor y amigo.

- Al Tec. Jaime Gutierrez (" Jaimito ") y Personal de laboratorio de suelos del C.I.G., quienes fueron nuestros colaboradores y amigos durante el desarrollo del presente trabajo.

- Al Tec. Carlos Guzmán, por su valiosa colaboración en cuanto a información bibliográfica.

- Al Tec. Carlos Armando Aguilar, quien desinteresada y espontáneamente se dió a la tarea de dibujar las figuras que aquí se presentan.

- A los Ingenieros Federico Koose y Dr. Héctor David Monzón quienes nos proporcionaron valiosa información así como parte de su amplia experiencia en investigaciones como la

presente.

- Al Ing. Jorge Rodríguez Deras, Director del C.I.G. por habernos proporcionado el equipo que fué necesario utilizar para realizar los ensayos de laboratorio.

- A la Dirección de Recursos Naturales y en especial al Departamento de Hidrología y Meteorología con atención al geólogo Aldofo Antonio Merino y al señor Alejandro Flores Molina por habernos proporcionado la información necesaria para realizar el estudio Hidrológico de la subcuenca del río Acelhuate.

- A todas las personas que en una u otra forma, hicieron posible el desarrollo del presente trabajo.

RUBEN, NIDIA Y CESAR.

DEDICATORIA.

- A JEHOVA DIOS NUESTRO CREADOR : Por darme la vida y las fuerzas necesarias para alcanzar este triunfo.

- A MI ESPOSA : Victoria A. Saravia de Umaña, por su amor, sacrificios, apoyo y comprensión; dándome optimismo en los momentos difíciles.

- A MIS HIJOS : Victor Rubén , Jenny Berenice, y Dennis Erik con mucho amor y especial dedicación.

- A MI MADRE : Aminta Interiano de Cruz por su inmenso amor, sacrificio y constante apoyo espiritual; para ella es mi alegría.

- A MI ABUELITA : Ercilia Maldonado, con profundo amor y agradecimiento.

- A MIS HERMANOS

: Noelia, Arturo y familia, José Mario e hijo, Enrique, Efraín y Sra., David Salomón Sra. e hijo, Joaquín y Sra. por sus palabras de aliento y amor fraternal apoyándome en todo momento y fortaleciéndome cuando más lo he necesitado.

- A MI TIO

: Neftali Maldonado Sra. e hijos con mucho agradecimiento y cariño.

- A MIS FAMILIARES

: Familia Umaña, familia Maldonado, familia Interiano, familia Saravia Reyes; con sincero aprecio.

- A COMPAÑEROS Y AMIGOS

: Que de manera desinteresada nos han ayudado y apoyado moralmente.

- A MIS ASESORES DE TESIS

: Ing. Rogelio E. Godínez e Ing. Enrique E. Melara : Por su especial empeño y dedicación en la realización del presente tra-

bajo que con sus acertados criterios nos han hecho llegar a un hermoso final de jornada.

Rubén Antonio

MIS AGRADECIMIENTOS A :

- DIOS Y SU SANTISIMA MADRE : Principio y fin de mi existencia
Porque el progreso del hombre
sobre la materia, también es
parte de la obra de Dios.
- MIS PADRES : FIDEL RAMOS EVORA y NIDIA JEREZ
DE RAMOS, por su amor y apoyo
incondicional, a quien debo lo
que hasta ahora soy.
- MIS HERMANOS : SONIA DEL CARMEN, ANA BEATRIZ y
FIDEL ERNESTO, por estar conmigo
a cada momento.
- MI PRIMO : FRANCISCO RENE RAMOS, más que un
hermano, un amigo quien siempre
me impulsó a salir adelante.
- ESE SER ESPECIAL : CARLOS ARMANDO AGUILAR, por su
gran amor y apoyo desinteresado.
Por que quien sabe amar, siempre
se da a los que le necesitan.
- MIS MAESTROS : Especialmente a mis asesores :
Ing. ENRIQUE MELARA e Ing.
ROGELIO GODINEZ. Por su orienta-
ción a lo largo de toda mi vida

educativa, porque en ella, nunca se sabe todo, siempre hay algo nuevo que aprender.

MIS FAMILIARES Y AMIGOS : Por su cariño, por sus consejos.

A TODOS GRACIAS !!

NIDIA

DEDICO ESTE TRIUNFO :

A DIOS TODOPODEROSO : Por haberme brindado la oportunidad de vivir e iluminado mi camino que hoy me lleva a la coronación de mi carrera profesional.

A MIS PADRES : Raúl Hernández Toyar y Antonia Franco de Hernández; como un homenaje por su amor, sacrificio, dedicación y abnegación.

A MIS HERMANOS : Elsa Celina, María Alicia, Ana, Judith, Carlos Raúl, Herbert Roberto, Rhina Antonia, Angela del Rosario y José Baudilio; Por su valiosa ayuda brindada para mi formación académica, moral y espiritual.

A MI ESPOSA : Loyda Evelyn Rodríguez de Hernández. Por su amor, apoyo y comprensión.

A MI FUTURO HIJO : Quien me impulsó a seguir superándome cada vez más.

A MIS MAESTROS : Por haberme transmitido todos sus conocimientos.

A LA UNIVERSIDAD : Por haberme proporcionado mi forma-
DE EL SALVADOR ción académica.
Y TODO SU PERSONAL
DOCENTE Y ADMINIS-
TRATIVO.

A MIS FAMILIARES, : Por su confianza.
AMIGOS Y COMPAÑEROS

CESAR AUGUSTO

" CRITERIOS Y PARAMETROS GEOTECNICOS DE LAS
MARGENES DEL CAUCE DEL RIO ACELHUATE
PARA SU PROTECCION Y PREVENCION DE RIESGOS
Y DESASTRES, DETERMINANDO ZONAS CRITICAS "

RESUMEN

El presente trabajo abarca el estudio sobre un sector del río Acelhuate, el cual presenta problemas de diferente índole en sus márgenes principalmente en su recorrido por el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). Entre los que a este estudio ocupa se mencionan los físicos como: derrumbes, colapso de muros, socavación en estructuras existentes (muros y taludes) etc., algunos de los cuales ya han afectado directamente la población que allí habita.

La degradación del medio ambiente es acelerada en esta zona, la contaminación así como el crecimiento poblacional descontrolado de los asentamientos humanos en un ambiente insalubre, carentes de servicios básicos, constituyen un serio problema que empeora las condiciones de sus pobladores.

Por el crecimiento poblacional, dichos fenómenos deben tomarse en consideración en los planes de reordenamiento y control de la zona, con el objetivo de lograr su adecuada y efectiva recuperación.

La zona de estudio está afectada por los fenómenos mencionados, los cuales causan desastres, ocasionando pérdidas de vidas humanas, destrucción de las estructuras existentes y de construcciones ubicadas en zonas inadecuadas como en corona de taludes y márgenes del río, frecuentemente en lugares donde los suelos son colapsables.

La necesidad de llevar a cabo medidas de prevención y protección a través de las obras, delimitación de zonas de peligro y de seguridad han sido los objetivos del presente estudio como alternativa para coadyuvar a la solución de los problemas más urgentes en la planificación de obras de ingeniería en la zona, con técnicas que se basen fundamentalmente en principios de ingeniería civil.

Pocos estudios se han realizado en el país orientados a dar una respuesta responsable al problema de asentamientos humanos en las márgenes y lecho del río Acelhuate. El presente estudio aborda una parte de esta problemática y da recomendaciones relativas a obras de protección y delimitación de zonas de protección en el sector centro oriental del río Acelhuate que atravieza el AMSS (desde la comunidad Gallegos No. 1 hasta Condominios Atonal), basados en criterios geotécnicos, geológicos e hidrológicos principalmente. Además, se presenta una metodología desde el punto de vista geotécnico que va orientada a obras de protección en el lecho del río (muros y gaviones) así como en taludes y se sugieren zonas de protección en las márgenes del mismo, como propuesta del estudio geotécnico que debe hacerse en este tipo de investigación.

Los resultados de este estudio deben servir como una guía para las instituciones u organismos preocupados por el desarrollo urbano del AMSS, así como las zonas que incluye ríos, quebradas o similares, ya que son medidas tendientes a mejorar las condiciones de vida de los pobladores de estos lugares.

CONTENIDO.

	PAGINA
Siglas, términos y símbolos utilizados.....	I
Capítulo 1. Introducción.	
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Relevancia de la investigación.....	4
Capítulo 2. <u>Revisión de Literatura.</u>	
2.1 Generalidades.....	11
2.2 Trabajos Previos.....	13
Capítulo 3 Criterios de Selección del Sector de Estudio.	
3.1 Generalidades.....	21
3.2 Localización y Descripción del sitio...	22
3.3 Comunidades Seleccionadas.....	28
Capítulo 4 Geología de la Zona de Estudio.	
4.1 Generalidades.....	30
4.2 Descripción geológica del AMSS y alrededores.....	30
4.2.1 Morfología.....	39
4.2.2 Geomorfología.....	40
4.2.2.1 Erosión hídrica.....	41
4.2.2.2 Acción erosiva.....	44
4.2.2.3 Erosionabilidad.....	46
4.2.2.4 Socavación y erosión regresiva.....	46

4.3	Sectorización de la zona de estudio con fines de identificación geológica.....	49
4.4	Aspectos sobre sismicidad de la zona...	57
Capítulo 5	Aspectos Geotécnicos	
5.1	Generalidades.....	61
5.2	Suelos del área metropolitana de San Salvador (AMSS).....	62
5.3	Suelos predominantes en la zona de estudio.....	64
5.4	Propiedades índices de los suelos.....	70
5.5	Propiedades mecánicas de los suelos....	73
5.6	Discusión sobre los suelos predominantes en la zona de estudio...:	74
Capítulo 6	Estudio Hidrológico.	
6.1	Generalidades.....	79
6.2	Hidrología.....	80
6.3	Hidrogeología.....	81
6.4	Precipitación.....	82
6.5	Caudales.....	85
6.6	Crecidas e inundaciones.....	86
6.7	Hidráulica de la zona afectada.....	87
6.8	Análisis hidráulico.....	88
6.9	Accionar de las corrientes del río Acelhuate en la zona de estudio.....	90
Capítulo 7	Metodología de Análisis.	
7.1	Generalidades.....	93
7.2	Problemática y causas.....	94

7.3	Criterios de análisis para obras de protección : Muros y Taludes.....	100
7.4	Parámetros que deben considerarse para el diseño de obras de protección : Muros y Taludes.....	103
7.5	Interpretación de resultados.....	114
7.6	Propuesta metodológica para evaluar las obras de protección en el área de estudio : Muros y Taludes.....	130
Capítulo 8	Conclusiones y Recomendaciones.	
8.1	Consideraciones.....	136
8.2	Conclusiones.....	137
8.3	Recomendaciones.....	139
8.4	Trabajos futuros.....	142
BIBLIOGRAFIA	145
Apéndice A	Método de las Isocronas.....	154
Apéndice B	Metodología para la localización y clasificación de zonas críticas del área de estudio.....	181
Apéndice C	Recomendaciones generales referentes a obras de protección a ser implementadas en la zona.....	191
ANEXO DE TABLAS.....		197
ANEXO DE FOTOGRAFIAS.....		199

INDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	PAGINA
3.1	Limites geográficos de la zona de estudio con respecto a la trayectoria del río.....	27
3.2	Comunidades Seleccionadas.....	29
4.1	Descripción general de los estratos de suelo en el tramo de estudio del río Acelhuate.....	50
5.1	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (S.U.C.S.).....	199
6.1	Estaciones pluviográficas.....	83
6.2	Resumen de los eventos Atemporalados en El Salvador.....	198
6.3	Resultados del Análisis hidrológico e hidráulico.....	90
7.1	Problemática y causas que la originan....	95
7.2	Localización y profundidad de los sondeos.....	110
7.3	Registro de perforación Condominios Atonal.....	111
7.4	Registro de perforación Comunidad Francisco Morazán.....	112
7.5	Registro de perforación Comunidad Harrison Step.....	113

TABLA	CONTENIDO	PAGINA
7.6	Resultados de Laboratorio.....	126
7.7	Grado de cementación de los suelos predominantes de la zona.....	128
A.1	Coefficiente de Escorrentia " C ".....	162
A.2	Area de cada isocrona y cálculo de caudal total.....	163
A.3	Intensidades por estación.....	165
A.4	Intensidades de diseño.....	177
A.5	Cálculo de la curva de descarga.....	178
B.1	Grado de socavación de taludes.....	182
B.2	Socavación en estructuras.....	182
B.3	Altura de taludes.....	183
B.4	Inclinación del talud.....	183
B.5	Deslizamientos de taludes.....	184
B.6	Inundación.....	184
B.7	Ubicación de las viviendas.....	185
B.8	Descarga de aguas servidas.....	185
B.9	Depósito de ripio.....	186
B.10	Tectonismo.....	186
B.11	Cubierta vegetal.....	187
B.12	Tipos de material.....	187
B.13	Puntajes asignados a cada comunidad de acuerdo a las características predominantes en las mismas.....	188
B.14	Evaluación de comunidades de acuerdo al riesgo.....	189

TABLA

CONTENIDO

PAGINA

B.15

Clasificación de las comunidades de
acuerdo al riesgo que presentan..... 189

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PAGINA
1.1	Mapa de ubicación general de la zona de estudio.....	6
3.1	Plano de ubicación de las comunidades localizadas dentro de la zona de estudio.....	23
4.1	Espesores de tierra blanca en el A.M.S.S.....	33
4.2	Corrientes de lava en el subsuelo de San Salvador.....	35
4.3	Extensión y distribución de roca firme en el subsuelo de San Salvador y alrededores.....	37
4.4	Mapa geológico tectónico de la zona de estudio.....	55
5.1	Perfil estratigráfico de los suelos, típicos de la zona de estudio.....	65
5.2	Tipos de estructura en suelos cementados.	67
7.1	Ubicación de agrietamientos en talud de Com. Francisco Morazán (vista en planta).....	99
7.2	Tipificación del perfil estratigráfico del talud de la Com. Francisco Morazán en la zona de deslizamiento.....	99

FIGURA	CONTENIDO	PAGINA
7.3	Mapa de la zona de estudio presentando la localización de los sondeos (SPT) y las muestras inalteradas.....	109
7.4	Perfil del talud de la zona de estudio mostrando el comportamiento de los suelos (Basados en la SPT).....	120
7.5	Ley de resistencia del suelo, Com. El Granjero.....	124
7.6	Ley de resistencia del suelo, Com. Harrison Step.....	125
7.7	Metodología sugerida para la evaluación de obras y zonas de protección en el área de estudio.....	135
A.1	Subcuenca del Rio Acelhuate.....	160
A.2	Estaciones, áreas tributarias y coeficientes de escorrentia considerados en la subcuenca del Rio Acelhuate.....	161
A.3	Gráficas Estadísticas de Gumbel Estación : Santa Tecla.....	169
A.4	Curvas (I - D - F) Estación : Santa Tecla.....	170
A.5	Gráficas Estadísticas de Gumbel Estación : Observatorio.....	171
A.6	Curvas (I - D - F) Estación : Observatorio.....	172

FIGURA	CONTENIDO	PAGINA
A.7	Gráficas Estadísticas de Gumbel Estación : San Salvador ITIC.....	173
A.8	Curvas (I - D - F) Estación : San Salvador ITIC.....	174
A.9	Gráficas Estadísticas de Gumbel Estación : El Boquerón.....	175
A.10	Curvas (I - D - F) Estación : El Boquerón.....	176
A.11	Sección transversal y curva de descarga EST. 0+200.....	179
A.12	Sección transversal y curva de descarga EST. 0+220.....	180
B.1	Mapa de clasificación de zonas de acuerdo al riesgo que presentan.....	190
C.1	Protección de taludes con mallas de alambre.....	195
C.2		Recomendaciones relativas a obras de protección a ser implementadas en la zona.....

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTO	CONTENIDO	PAGINA
5.1	Taludes verticales de más de 30 mts. de altura.....	199
5.2	Taludes de cenizas volcánicas.....	199
5.3	Distribución estratigráfica de los suelos en el talud de com. Francisco Morazán....	200
5.4	Tobás en el lecho del río, en comunidad Quiñonez.....	200
5.5	Viviendas destruidas por derrumbe de talud, com. San Luis Portales.....	201
5.6	Socavación en la base del muro sostenedor de línea férrea, com. Fenadesal Sur.....	201
5.7	Socavación en la base del muro de mampostería.....	202
5.8	Tobas cementadas color gris en el lecho del río, com. San Martín y Florida.....	203
5.9	Estratos de lahares y cantos rodados mezclados con arenas. Com. Francisco Morazán.....	203
6.1	Viviendas ubicadas aguas abajo del Río Acelhuate.....	204
6.2	Viviendas construidas a la orilla del Río Acelhuate.....	204
7.1	Socavación en taludes debido a la fuerza de las corrientes del río.....	205

FOTO	CONTENIDO	PAGINA
7.2	Gaviones construidos en Condominios Atonal con efectos de socavación en sus bases.....	206
7.3	Muros de mamposteria en comunidad Gallegos No.2 en los que se está produciendo socavación en sus bases.....	206
7.4	Erosión por descargas de aguas lluvias o servidas.....	207
7.5	Ubicación de viviendas en la corona del talud, al borde del mismo.....	208
7.6	Deslizamiento frecuente de taludes (comunidad Harrison Step).....	209
7.7	Muros volcados en el sector de estudio...	210
7.8	Zona de inundación en comunidad El Granjero No.1.....	210
7.9	Cubierta vegetal escasa en los taludes de la zona.....	211
7.10	Depósito de ripio y basura en el rio.....	212
7.11	Configuración de talud de comunidad Francisco Morazán, Enero/91.....	213
7.12	Configuración de talud de comunidad Francisco Morazán, Agosto/91. Nótese el carcavamiento de que es objeto.	214
7.13	A la izquierda, malla revestida con mortero, a la derecha, lechada de cemento aplicada al talud (la prueba).....	215

FOTO	CONTENIDO	PAGINA
7.14	Malla revestida con mortero en contacto con las corrientes del rio. (2a prueba).	215
7.15	Socavación en la parte inferior de la malla revestida. Actualmente el incisado es de aproximadamente 0.5 mts. hacia el interior del talud.....	216
7.16	Muro de concreto armado al costado Oriente de Industrias Eureka.....	217

SIGLAS, TERMINOS Y SIMBOLOS UTILIZADOS.

ABREVIATURAS Y SU SIGNIFICADO.

A.M.S.S.	: Area Metropolitana de San Salvador.
A.N.D.A.	: Administración Nacional de Acueducto y Alcantarillados.
C.E.P.R.E.D.E.N.A.C.	: Centro de Prevención de Riesgos y Desastres Naturales para América Central.
C.E.L.A.D.E.	: Centro Latinoamericano de Demografía.
C.I.G.	: Centro de Investigaciones Geotécnicas
C.O.E.N.	: Comité de Emergencia Nacional.
D.U.A.	: Dirección General de Urbanismo y Arquitectura.
I.G.N.	: Instituto Geográfico Nacional.
M.A.G.	: Ministerio de Agricultura y Ganadería
M.O.P.	: Ministerio de Obras Públicas.
O.P.A.M.S.S.	: Oficina de Planificación del Area Metropolitana de San Salvador.

P.O.S.R.A. : Proyecto de Ordenación de la Subcuenca del Río Acelhuate.

F.H.A : Fomento de Hipotecas Aseguradas

R.E.D.S.E.S. : Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador.

U.E.S. : Universidad de El Salvador.

U.C.A. : Universidad Centroamericana " José Simeón Cañas " .

m.s.n.m. : Metros sobre el nivel del mar.

mts. : Metros

SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

CENREN : Centro Nacional de Recursos Naturales

SIMBOLOGIA RELATIVA A SUELOS.

e : Relación de vacíos.

n : Porosidad.

w : Contenido de agua (%).

γ_s : Peso volumétrico seco.

SC	: Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
GP	: Grava mal graduada, mezcla de grava y arena.
GC	: Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.

SIMBOLOGIA RELATIVA A HIDRAULICA.

A	: Area.
n'	: Rugosidad.
Rh	: Radio hidráulico.
H	: Tirante máximo.
Qt	: Caudal total.
Tc	: Tiempo de concentración.
Lc	: Longitud del cauce más largo.
H	: Elevación media.
C	: Coeficiente de escorrentia.
Kms^2	: Kilometros cuadrados.
T	: Tiempo entre las isocronas.

Ss : Densidad de sólidos.
 Gw : Grado de saturación.
 Cr : Compacidad Relativa.
 ϕ : Angulo de fricción interna.
 C : Cohesión.
 : Deformación o asentamiento.
 Cc : Índice de compresión.
 K : Permeabilidad.
 L : Limite líquido.
 L : Limite plástico.
 IP : Índice plástico.
 SM : Arenas limosas, mezcla de arena y limo.
 ML : Limos orgánicos, limos arenosos o arcillosos.
 SP : Arenas mal graduadas, arenas con gravas.
 dpr : Distancia de protección.

N'	: Número de isocronas.
Lisoc.	: Distancia entre isocronas.
I	: Intensidad.
D	: Duración.
F	: Frecuencia.
Σ	: Sumatoria.
Fig.	: Figura.
S	: Pendiente.
Ec.	: Ecuación.
Ah	: Area hidráulica.
Qh	: Caudal hidráulico.

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Generalidades.

El desarrollo y manejo de los recursos naturales en El Salvador, constituye un problema que reviste particular importancia, en tanto el sistema ecológico y el medio ambiente continúan siendo degradados por la influencia del hombre en industrializar y modernizar el ambiente físico y que se manifiesta en la contaminación de las aguas y erosión acelerada del lecho de ríos y quebradas principalmente en zonas urbanas. En este sentido, cabe destacar lo siguiente :

- El manejo agrícola o industrial intensivo e inmoderado de 21,382 Km². de superficie.
- La alta densidad poblacional que actualmente alcanza los 270 habitantes/kilómetros cuadrados y que según proyecciones de Cayetano Quinteros (1991), la población de El Salvador en 1990 era de 5,816,493 habitantes y según el Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE) la población para el año 2000 excederá los 10 millones de habitantes, y se espera una densidad poblacional de 500 habitantes/kilómetros cuadrados, aproximadamente.
- El manejo inapropiado de las cuencas; específicamente la del río Acelhuate, cuyo río se continúa utilizando como depósito de aguas servidas, basura, ripio y desechos

industriales, y en sus márgenes se proliferan asentamientos populares como consecuencia del crecimiento urbano descontrolado.

Los aspectos anteriores reflejan la necesidad de que en El Salvador se elabore urgentemente un esquema de organización territorial y una planificación adecuada de su población para hacer uso racional y eficiente de sus recursos.

La concentración de actividades económicas y sociales en el área Metropolitana de San Salvador (AMSS), hace que esta ciudad se mantenga como foco de atracción principal para la población nacional; volviéndose insuficiente para solventar las necesidades de vivienda, salud, educación, etc., de sus habitantes.

Este crecimiento poblacional desmesurado del área Metropolitana de San Salvador (AMSS), se agudiza cada vez más por la situación de Guerra, principalmente en el interior del país, que ha provocado que más de medio millón de habitantes emigren hacia los centros urbanos, preferencialmente hacia la capital, la mayor parte de ellos buscando refugio y protección, otros en la búsqueda de oportunidades de trabajo y mejores condiciones de vida.

Según el Fondo Social para la Vivienda (1989), el 54.3% de la población del área Metropolitana de San Salvador

(AMSS), vive en asentamientos populares en condiciones infrahumanas; éstas, generalmente se ubican en zonas que por sus características topográficas, no son adecuadas para ser habitadas, ya que no ofrecen condiciones mínimas de habitabilidad ni de seguridad para la vida de sus moradores.

Como consecuencia de este crecimiento urbano desmesurado y poco controlado, el deterioro ecológico que afrontan los centros poblacionales como el área Metropolitana de San Salvador (AMSS), es cada vez más grave, lo que se refleja en los altos índices de deforestación y la irresponsable depositación de las aguas servidas, desechos industriales, basura, ripio, etc., en los lechos de los ríos, sin ningún tratamiento, causando la degradación indiscriminada del medio ambiente.

No se debe perder de vista, los problemas generados por las aguas lluvias como la erosión, inundación y socavación; colateralmente, se debe comprender que :

No hay obra humana capaz de resistir íntegramente, y en todos los casos, la fuerza de los fenómenos naturales.

Lo más que puede hacerse es prevenir sus efectos destructivos, y consecuentemente reducir sus daños hasta donde sea humanamente posible, haciéndose necesario revisar, actualizar y establecer normas indispensables de seguridad de construcciones que tienen que asentarse, inevitablemente

en las márgenes de los ríos y quebradas, sobre todo del río Acelhuate.

Lo que hace necesario tomar medidas protectoras, a través de obras, delimitación y recuperación de zonas de protección para garantizar la vida de los habitantes y la conservación del hábitat de la flora y fauna de esos lugares.

El presente estudio, plantea alternativas de solución para los problemas generados por el río Acelhuate, en el tramo comprendido entre las comunidades Gallegos No. 1 y Atonal; además, plantea una metodología sugerida para la determinación de zonas de protección y recomienda obras de salvaguarda que deban implementarse en la zona de estudio. Fig. 1.1.

Trabajos como el presente deben seguirse realizando para llegar a establecer en El Salvador, zonas de protección en las márgenes de ríos y quebradas, especialmente en aquellos lugares que son utilizados para asentamientos humanos.

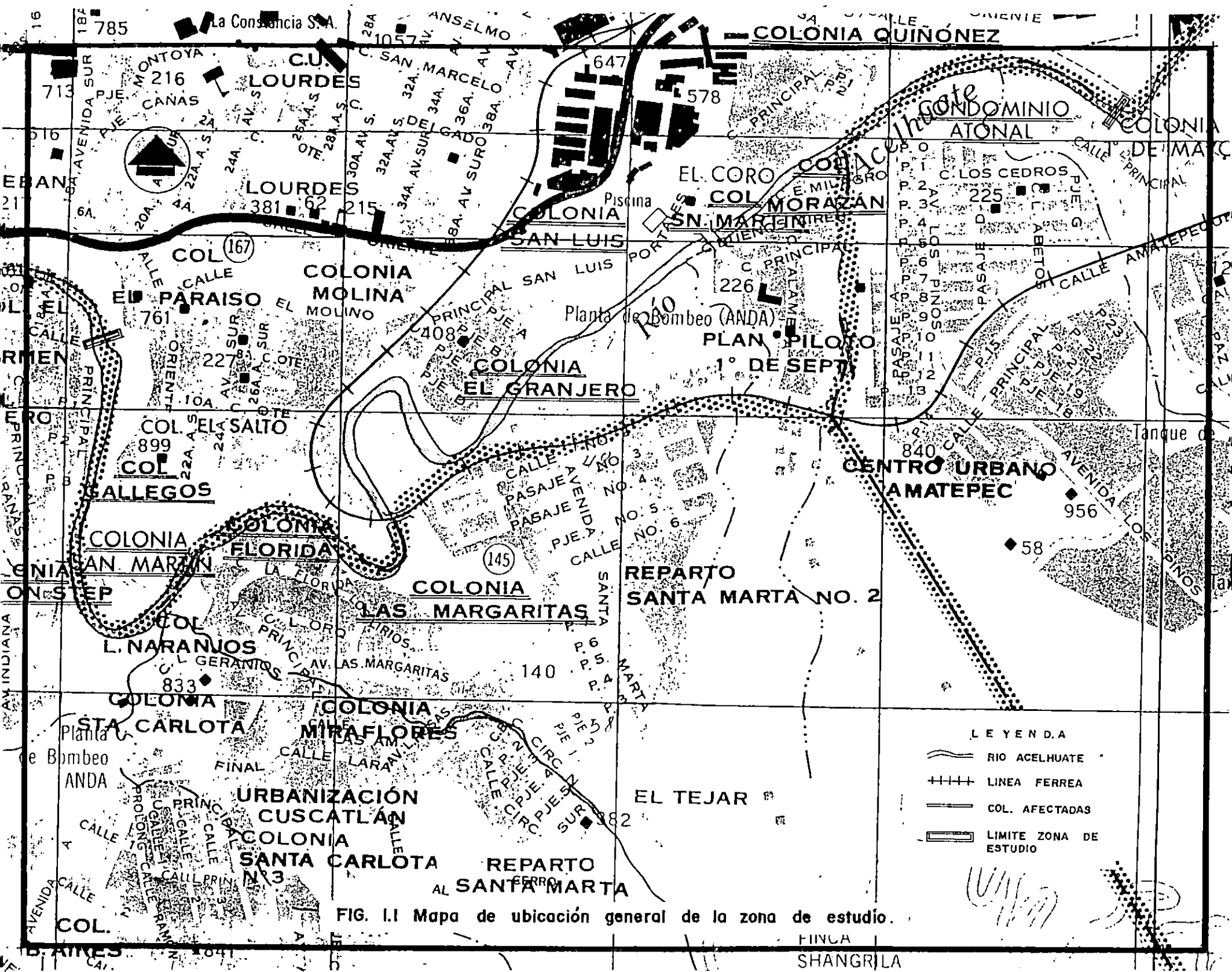
1.2 Relevancia de la Investigación

Existen instituciones como el Comité de Emergencia Nacional (COEN) que han advertido de manera continua el

riesgo que representa construir viviendas en sitios inseguros y peligrosos, emprendiendo medidas de prevención para la protección de la población en los casos de desastres naturales, así también planificando acciones en ayuda a damnificados, para cuando los desastres ya han ocurrido, sin que técnicamente el problema se aborde con la entereza debida.

Sectores involucrados en el proceso del desarrollo urbano (Formal e informal), han planteado una serie de ordenamientos a nivel regional y urbano para todo el país, y en ese marco, el ordenamiento al sector vivienda ha tenido prioridad. La falta de atención a las recomendaciones y su implementación, son un ejemplo del descontrol que en este sentido existe. A lo que debe agregarse el desaprovechamiento de recursos y esfuerzos destinados a implementar el desarrollo integral de los asentamientos humanos; situación que ha coadyuvado a la proliferación de las colonias ilegales, tugurios y el desorden urbano.

El 21% de la población urbana de El Salvador se concentra en el AMSS, y de ella, el 54.3% reside en asentamientos populares (FSV, 1989); éstos generalmente están ubicados en lugares críticos tales como laderas de cauce de ríos y quebradas, expuestos a derrumbes de taludes, asentamientos de suelo e inundaciones, donde se da también colateralmente la situación precaria de salud, vivienda, alimentación, etc., que a ellos les aqueja.



En el AMSS, han ocurrido eventos naturales que han provocado graves desastres como : El deslizamiento de suelo superficial en forma de flujo de lodo en la parte Sur-Este del volcán de San Salvador el 19 de Septiembre de 1982, que arrastró alrededor de 400,000 metros cúbicos de tierra hacia la parte baja donde está situada la colonia Montebello Poniente y otras áreas, ocasionando enormes daños y víctimas humanas. (Hopf Joseph, 1983). El asentamiento del suelo en la colonia Guadalupe, ubicada al Nor-Este de ciudad Delgado adyacente a las márgenes del río Acelhuate, el 11 de Septiembre de 1989, que causó destrucción parcial de un centenar de viviendas, quedando inhabitables; lo que generó la migración de muchas personas a otros lugares y actualmente es zona deshabitada y de mucho peligro por los continuos asentamientos de suelo.

Otros menos graves pero importantes como los frecuentes derrumbes de taludes a lo largo de los ríos que atraviezan el AMSS, principalmente el río Acelhuate; el derrumbe del puente de acceso a la Comunidad Francisco Morazán sobre el río Acelhuate el 10 de Septiembre de 1986; y el asentamiento del puente Agua Caliente sobre el río Acelhuate en Diciembre de 1990. Estos problemas evidencian la influencia que tienen los factores como el agua, tectonismo, sismicidad, en la determinación del bienestar de los habitantes.

En las márgenes del río Acelhuate, se puede constatar

que : Muchas viviendas ya han sido abandonadas por sus pobladores, otras se encuentran propensas a la caída, al mantenerse expuestas a las corrientes del río en la época invernal, así como también al frecuente derrumbe de taludes por la saturación del suelo; o que se encuentran expuestos a socavación en su base por las corrientes de agua. Muchas viviendas están siendo ubicadas en el cauce o ribera del mismo, en sitios que evidentemente no hay seguridad que garantice la vida de éstas personas; esto se puede notar en las comunidades : San Martín Privado, Francisco Morazán y Harrison Step. También se observan asentamientos de suelos recientes en el cauce del río, a la altura de la comunidad El Granjero.

Los organismos gubernamentales (DUA, CIG, OPAMSS, VMVDU, etc.) no han sido lo suficientemente específicos para la determinación de áreas de protección en zonas de peligro, si se toma en cuenta que los desastres traen como consecuencia pérdidas de vidas humanas. Al respecto, el reglamento de la OPAMSS, lo presenta en forma limitada determinando un factor de 1.5 multiplicado por la profundidad de la quebrada ($dpr = 1.5h$), para establecer el ancho de la zona de protección, independientemente del tipo de suelo que se trate. Los aspectos geotécnicos e hidrológicos que son realmente los que gobiernan el comportamiento de los taludes naturales; se tienen que considerar en la planificación de obras de protección en los lugares específicos, lo cual, es importante para poder dar

soluciones más adecuadas cuando las características y propiedades de los materiales son heterogéneos y varían de un lugar a otro.

En el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador (REDSES), y el reglamento de la OPAMSS, no se consideran zonas de riesgo debido a deslizamientos de tierra, por lo que deberían tomarse en cuenta estos aspectos.

Por lo anterior se deduce, que hay limitada reglamentación oficial en lo que se refiere a obras de protección en las márgenes de ríos y quebradas del AMSS y del país en general.

Es necesario recalcar, que en el REDSES, el reglamento de la OPAMSS, y otros reglamentos que puedan elaborarse, estos deberían ser específicos sobre zonas de riesgo por deslizamientos de tierra; los que deberán localizarse en mapas de zonificación de zonas peligrosas.

El presente estudio, plantea una metodología para la determinación de zonas de protección en las márgenes del río Acelhuate, con especial atención hacia aquellos lugares que se consideren críticos, ya sea para los asentamientos humanos existentes o para los que puedan establecerse en el futuro, dando recomendaciones técnicas, relativas a las obras de protección que deban implementarse, en base a las

características geológicas, geotécnicas e hidrológicas. Al final se plantean los trabajos de investigación que deben implementarse en la zona de estudio.

1999 2000

2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades

Particular atención merece estudiar el desarrollo del AMSS, en la que se encuentra concentrada el 21% de la población del país (FSV, 1989).

Las normas de construcción, el aprovisionamiento para el sistema de alcantarillado y escurrimiento, no son tomados con las debidas atenciones del caso; observándose que los lugares inclinados frecuentemente son nivelados hacia una serie de terraplenes llanos; en los cuales los volúmenes de tierra desalojados muchas veces son empujados sobre el borde del río dentro del curso de las aguas más cercanas. El resultado es, que estas cantidades de material suelto son rápidamente arrastradas en los cauces de los ríos como ocurre en el río Acelhuate, a lo que debemos agregar, la continua erosión, socavación de sus taludes naturales y el volcamiento de sus escasas obras de protección existentes (Ejemplo de ello son los muros volcados a lo largo del río, caída de puentes, derrumbes frecuentes de taludes y viviendas e inundaciones). Todo esto representa una amenaza constante para las personas que habitan el lugar mientras no se consideren medidas tendientes a solucionar la problemática existente.

El río Acelhuate, se sitúa en uno de los valles altos de El Salvador, a unos 40 kms. de la costa del Pacífico, se forma de la unión de los ríos Matalapa e Ilohuapa al Sur de la ciudad de San Salvador; corre de Sur a Norte y desemboca en el río Lempa 13 kms. al Norte de la ciudad de Aguilares, posee 71 kms. de longitud; su área de drenaje es de aproximadamente 733 kms²., su elevación en la confluencia con el río Lempa es de aproximadamente 230 mts. sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), su precipitación media anual es de alrededor de 1800 mm., esencialmente se distinguen dos estaciones : Seca, de Noviembre a Abril y húmeda, de Mayo a Octubre.

La geología del área es de origen volcánico, se identifican cenizas de baja consolidación mezcladas con tobas volcánicas y aglomerados subyacentes. Predominan suelos arcillosos color rojo, en el Norte, y suelos arenosos en el Sur, que es el sector en el cual se desarrolla el presente estudio.

A lo largo del río Acelhuate existe una intensa actividad industrial, pudiéndose anticipar que dicha industrialización continuará en los próximos años. Estas grandes industrias, están contribuyendo con descargas de sólidos y líquidos contaminantes, a acelerar el deterioro ecológico de la zona, ya que además, recibe los desechos y basuras de la principal ciudad del país, San Salvador; en la que se pronostican como se señaló antes, aumentos masivos de

población y altos incrementos en el volumen de aguas servidas para el año 2000, convirtiéndose el río en una cloaca abierta dentro del área urbana.

En el área objeto de estudio, cada evento que ocurre principalmente por aumento en el caudal del río, ha ocasionado grandes pérdidas sociales y económicas; ejemplo de ello son : La inundación de 1922 que afectó en mayor grado los barrios de Candelaria y la Vega, La inundación de 1934 que afectó esta zona y gran parte del territorio nacional, otros como el sismo de mayo de 1965 y el del 10 de octubre de 1986; los cuales provocaron el derrumbamiento de muchos de los taludes que conforman las laderas de los cauces, contribuyendo así a la inestabilidad de los taludes a lo largo del río.

Es así como en el presente capítulo, se ha recopilado toda la información general concerniente a la zona en estudio : Su localización, ubicación, población, habitabilidad, situación de laderas, etc.. Así como una revisión de trabajos previos (antecedentes técnicos) realizados en el país y otros países.

2.2 Trabajos Previos.

El río Acelhuate es y ha sido el principal medio para evacuar grandes cantidades de desechos líquidos, sólidos y

mixtos, domiciliarios e industriales; contaminantes de San Salvador.

Los fenómenos hidrológicos, geológicos y geotécnicos se han venido complicando hasta constituir verdaderos problemas en dicha zona.

A la fecha, los pocos estudios que se han elaborado para la solución de dichos problemas en las riberas y márgenes de los ríos y quebradas principales de San Salvador, no han sido enfocados de una manera específica, principalmente en la solución de los siguientes aspectos :

- 1) Erosión.
- 2) Inundación.
- 3) Inestabilidad de taludes.
- 4) Delimitación de zonas de Protección.

De acuerdo a la revisión de estudios hechos en 1979, en forma conjunta, los gobiernos de El Salvador y Gran Bretaña a través del programa de prevención de desastres del Área Centroamericana, seleccionaron la cuenca del río Acelhuate para su ordenamiento y recuperación, creando así el proyecto de ordenación de la subcuenca del río Acelhuate (POSRA).

En la primera fase del programa, el interés principal era : Disminuir la sedimentación y contaminación de las

aguas en el área metropolitana, y así, producir un plan de manejo práctico que identificará obras y proyectos con acciones factibles en orden de prioridades, para que en forma conjunta se busquen alternativas en el manejo del río y del medio ambiente.

La segunda fase, pretendía el mejoramiento de la subcuenca con la ejecución del gobierno, el sector público y la población misma.

Dicho proyecto no ha sido puesto en marcha, debido al alto financiamiento que se necesita para su ejecución, ya que generalmente dichos recursos son orientados a otras prioridades.

Tales estudios no incluyen el establecimiento de zonas de protección; y las obras de salvaguarda recomendadas por los mismos, fueron diseñadas sin tomar en consideración la heterogeneidad del suelo que conforman los taludes en las márgenes del río.

Según estudio realizado por M. Posada (1986), la profundidad del cauce en el lecho y la erosionabilidad, es uno de los problemas más grandes que afronta el río Las Cañas, análogamente los mismos problemas están afectando al río Acelhuate.

En este estudio, se dan recomendaciones relativas a

obras de protección así como del tipo conservacionista a ser utilizadas en el río Las Cañas, pero omiten recomendaciones tan importantes relativas a la delimitación de zonas de protección en dicho río.

En estudios sobre zonas del AMSS que fueron afectadas por el terremoto del 10 de Octubre de 1986, Figueroa y otros (1989), puntualizan que : Existen obras de paso que no poseen la suficiente capacidad hidráulica para desaguar las avenidas máximas, provocando remansos arriba de las obras e incrementando así, los problemas de inundación en las zonas adyacentes. Para estos problemas hidráulicos, el estudio considera que se deben desarrollar los proyectos establecidos a partir del " Diagnóstico del Sistema Hidrográfico del AMSS y sus Alrededores ", elaborados por el MOP, 1986, Estrada, Montenegro; a fin de evitar que obras de paso hidráulicamente insuficientes incrementen el riesgo de inundación en los sectores ubicados aguas arriba de ellas.

También, se describen los problemas de taludes existentes en la zona. En este trabajo, a través de los ensayos de suelos que se efectuaron, se concluyó : que los taludes formados por el suelo " Limo Arenoso " , son estables y los taludes formados por " Arena Limosa " (con baja cohesión y permeables) presentan vulnerabilidad a la erosión. Además, se dan recomendaciones del tipo preventivas y correctivas para ir solucionando el problema de inestabilidad de taludes en dicha zona.

Aguilar R. (1984), estudió cómo establecer una Microzonificación del AMSS incluyendo la influencia de las condiciones locales, procedió para ello a realizar una investigación geotécnica del AMSS, dividida en dos partes : La primera, incluye aspectos generales, y la segunda se concreta en las propiedades dinámicas de los suelos. Aunque el estudio no abarca el problema de la inestabilidad de taludes y la delimitación de zonas de protección, sí, enfoca aspectos geotécnicos que pueden ser útiles para tratar de implementar acciones preventivas y correctivas a estos problemas manifiestos en las riberas y márgenes de los principales ríos del AMSS.

Armas J. (1986) desarrolló un estudio sobre algunos lugares de peligro del AMSS, específicamente los que fueron reconocidos como peligrosos por el comité de Emergencia Nacional (COEN), en el se estudiaron los siguientes tipos de problemas : La ubicación de asentamientos próximos a taludes, a orilla de ríos y quebradas, así como la ubicación de canteras con respecto a colonias aledañas a la zona en estudio. También, se dan recomendaciones del tipo de obras de protección a utilizar en los lugares afectados, pero omite lo referente a metodología a utilizar, para establecer y delimitar zonas de protección en dicha área y sectores similares.

Actualmente la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ha puesto en marcha un proyecto en

vías a resolver los problemas ambientales causados por el flujo de aguas contaminadas del río Acelhuate en el AMSS; dicho proyecto comprende, la construcción de cuatro colectores primarios con una longitud de 25 Kms.; para lograr los objetivos planteados del mismo, se deben solucionar los problemas hidrológicos y ambientales de dicha zona.

Actualmente el centro de investigaciones geotécnicas (CIG), está elaborando un mapa de clasificación de riesgos del AMSS, en coordinación con el centro de prevención de desastres naturales (CEPREDENAC) utilizando para ello el denominado " Método Costarricense ", que consiste en la evaluación del grado de amenaza de una zona de acuerdo con la susceptibilidad que ésta tenga con respecto a los deslizamientos, definida por los factores geológicos, climatológicos y los fenómenos de disparo :
(F.D. = F (Sismo) + F (Lluvia)). Dicho método se ha utilizado en Costa Rica, así como también en el área Centroamericana. Nicaragua en la actualidad está haciendo uso del método estadístico denominado : " Coeficiente de Similitud de Cower, para la elaboración de mapas de riesgo de su país ".

En el congreso denominado " La elaboración de Mapas de Riesgo ", (Panamá, Diciembre de 1990), cuyo objetivo principal era determinar zonas de amenaza por deslizamiento, para elaborar posteriormente un " Atlas de Centroamérica ",

se expusieron los métodos mencionados anteriormente. Revistiendo mayor aplicabilidad el método sueco (Stability of Slopes in clay a description of a risk method " elaborado por el " Swedisch Geotechnical Institute SGI) ", el cual, se recomienda sea utilizado para la planeación urbana de nuevas áreas.

Este método, se utiliza para el análisis de taludes, el cual comprende todos los procedimientos de análisis de estabilidad respecto a falla por rotación, en los que se considera que la superficie de falla es un cilindro, cuya traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia.

Koose, Federico (1990)*, ha tenido experiencia en lo que se refiere a zonas de protección, y análisis de deslizamientos de suelo en taludes; para dicho estudio, utilizó el método del círculo, suelo homogéneo ($\phi - c$), considerando que la superficie de ruptura pasará por el pie del talud o arriba del mismo. El objetivo del análisis es determinar por tanteos sucesivos las distancias teóricas a partir del borde superior del talud de los barrancos, en los cuales, los círculos de ruptura tienen un factor de seguridad igual a la unidad o cercano a la misma, es decir, en el momento de un deslizamiento incipiente. El análisis se

* Comunicación personal

efectua tanto para cargas estáticas como para cargas dinámicas inducidas por sismos, estos últimos con aceleraciones de 0.10 g. El estudio se desarrolló en taludes con pendientes de : 45°, 60°, 75° y 90° y con alturas de : 25.0, 50.0, 75.0, 100.0 y 150.0 mts. Puede decirse, que dicho método podría ser utilizado en el futuro en El Salvador, como una referencia para el análisis de estabilidad de taludes.

CAPITULO III

CRITERIOS DE SELECCION DEL SECTOR DE ESTUDIO

CAPITULO III

CRITERIOS DE SELECCION DEL SECTOR DE ESTUDIO

3.1 Generalidades

Tomando como base el río Acelhuate, comprendido dentro de los límites del AMSS, del cual anteriormente se definió su localización, se procedió a efectuar un reconocimiento preliminar del lugar, y así tener una idea apropiada de cuál sector podría considerarse prioritario para el desarrollo del presente estudio.

En base a observaciones del sitio, y a los criterios de selección, se procedió a clasificar las comunidades, descartando aquellos lugares que por sus características podrían tener menor peligrosidad.

Los criterios de selección considerados son los siguientes :

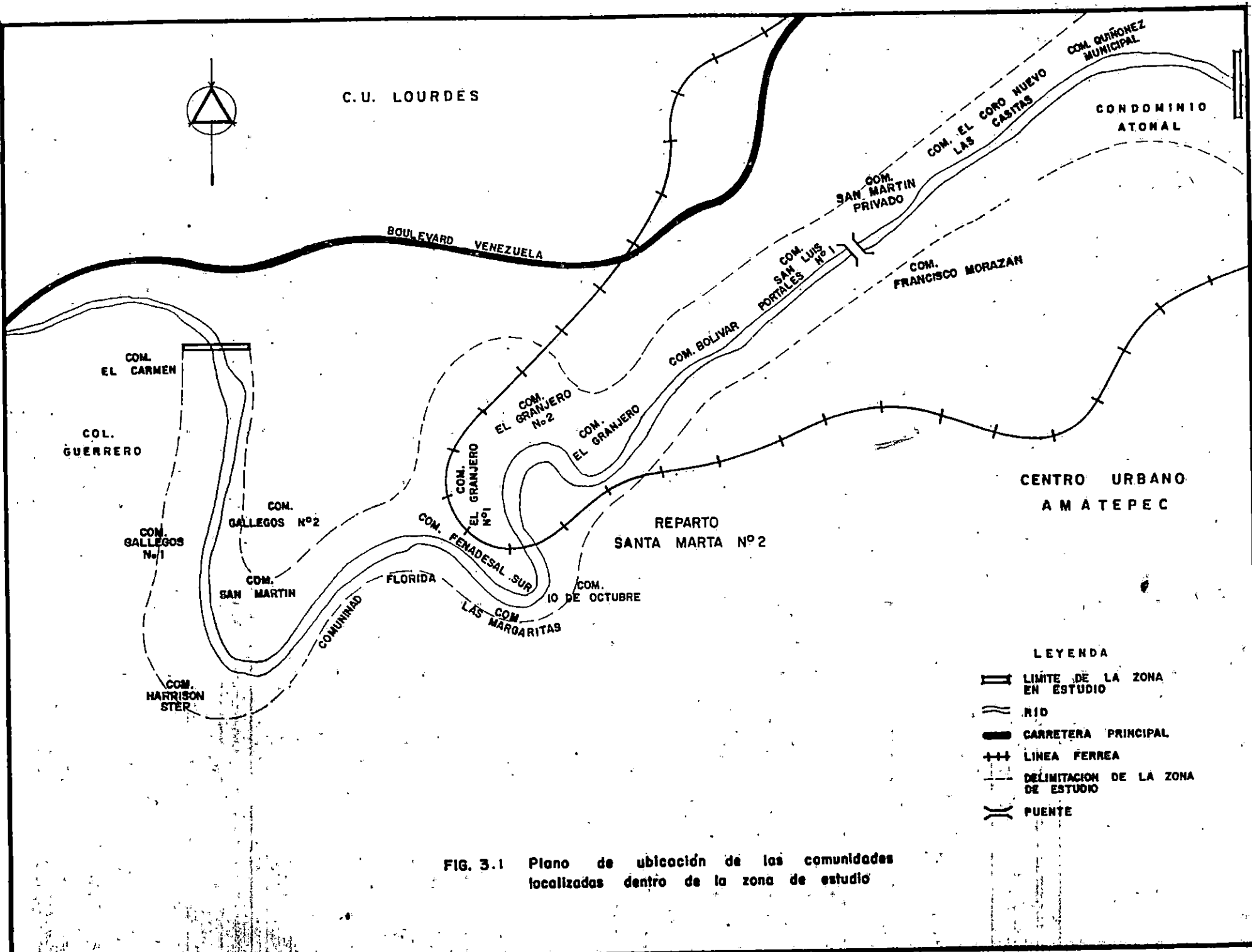
1. Ubicación de la comunidad (específicamente si está localizada en las márgenes del río o próxima a taludes).
2. Situación poblacional (prioritariamente las comunidades afectadas).
3. Características físicas y tipo de suelo existentes.
4. Accidentes del terreno y su uso (posibles fallas, vaguadas, depósitos de basura, ripio, etc.).

5. Obras de protección existentes (si las hubiere);
como muros, guardaniveles, gaviones.
6. Condición actual de los taludes.
7. Vegetación del lugar. En muchos casos esta indica
el tipo de suelo predominante en la zona.
8. Ancho del cauce y altura de aguas máximas.

Para tener una idea general, de la situación que presentan cada una de las comunidades seleccionadas, se efectúa la descripción de cada una de ellas (sección 3.3).

3.2 Localización y Descripción del sitio.

El tramo en estudio sobre el río Acelhuate, está localizado geográficamente en la parte Sur-Oriente de la ciudad de San Salvador; se inicia al costado Oriente del barrio La Vega, en la comunidad Gallegos No. 1, donde se localiza una caída de agua, y finaliza en los condominios Atonal (al costado Sur de la fábrica EUREKA), la longitud del tramo en estudio es de 3.0 Kms. En esta zona (Fig. 3.1) se tiene una alta densidad poblacional, ya que según estudios de la Alcaldía Municipal de San Salvador (1991), la población de éstas comunidades ubicadas en las riberas del río y que son las que presentan mayores riesgos, ascienden a 13,698 habitantes, Tabla 3.2.



C.U. LOURDES



BOULEVARD VENEZUELA

COM. EL CARMEN

COL. GUERRERO

COM. GALLEGOS No.1

COM. GALLEGOS No.2

COM. SAN MARTIN

COM. HARRISON STER

COM. EL GRANJERO No.2

COM. EL GRANJERO

COM. EL GRANJERO No.1

COM. FENADESAL SUR

COM. 10 DE OCTUBRE

COM. FLORIDA

COM. LAS MARGARITAS

COM. COMUNIDAD

REPARTO SANTA MARTA No.2

COM. BOLIVAR

COM. SAN LUIS PORTALES No.1

COM. SAN MARTIN PRIVADO

COM. FRANCISCO MORAZAN

COM. EL CORO NUEVO LAS CASITAS

COM. GUTIERREZ MUNICIPAL

CONDOMINIO ATONAL

CENTRO URBANO AMATEPEC

LEYENDA







-  LIMITE DE LA ZONA EN ESTUDIO
-  RIO
-  CARRETERA PRINCIPAL
-  LINEA FERREA
-  DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO
-  PUENTE

FIG. 3.1 Plano de ubicación de las comunidades localizadas dentro de la zona de estudio

En la mayoría de asentamientos humanos próximos al río Acelhuate, las pendientes del terreno son suaves, pero a medida que se acercan al cauce, se definen cortes verticales formando taludes de altura variable que oscilan entre los 5.0 y 30.0 mts.

La pendiente del cauce es suave ya que no se observan cambios bruscos en su recorrido, a excepción del cauce colgante al inicio del tramo en estudio con un desnivel entre lechos de unos 8.0 mts.

Los suelos predominantes en la zona, son limos arenosos que han sido depositados sobre tobas cementadas y coladas basálticas, siendo las cenizas volcánicas las que predominan en la mayor parte de la ribera del río. Existen tramos cortos de acumulaciones tobáceas en el lecho del río, sobre todo al Oriente de las comunidades Gallegos No. 2, El Coro Nuevo, Las Casitas y Quiñonez Municipal, observándose además un afloramiento de lavas basálticas al Sur de la comunidad San Martín.

Los efectos erosivos de las corrientes del río, han profundizado su cauce en algunos puntos; en otros, han cambiado su curso como resultado de la acción de las corrientes de agua sobre el suelo (ceniza volcánica), y también, por las grandes cantidades de ripio producto de la demolición de edificios lo cual fué provocado por el sismo de Octubre de 1986, y ha causado cambios en la morfología

del río.

En las laderas a lo largo del río, actualmente sus taludes están siendo socavados por las corrientes de agua al pie de los mismos, e inevitablemente cederán durante la época invernal si no se toman medidas urgentes de prevención y corrección.

La gran cantidad de muros volcados en el lecho del río, son evidencia del daño que las corrientes incontroladas ocasionan cuando las obras de protección son mínimas y mal construidas. Estos muros se volcaron debido a cimentaciones no apropiadas e inadecuado, diseño estructural y construcción. Esto representa un problema más en el recorrido del mismo río, ya que se encuentran dispersos en toda la trayectoria de las corrientes y obstruyen el paso de las mismas, represándolas en algunas zonas; por su gran peso y volumen, difícilmente pueden ser removidos, ocasionando la desviación del curso del río, lo que hace que las corrientes busquen las laderas y provoquen socavación y deslizamientos de tierra, así como también, el desplome de estructuras existentes.

Según comentarios de los pobladores del lugar, los problemas de los taludes, se presentan inmediatamente cuando las crecidas del nivel de agua en el cauce, son máximas.

En la inspección del sitio, se observó el nivel

freático a una profundidad de 4.0 mts. en la perforación de un pozo artesiano en las márgenes del río a la altura de la comunidad Fenadesal Sur, y en la comunidad el Granjero, a una profundidad de 2.0 mts. (en una excavación para tuberías colectoras de aguas negras).

La vegetación existente en la zona es escasa (maleza, arbustos y " huertos caseros " de los pobladores). Como consecuencia de la falta de vegetación en los taludes, se producen algunos deslizamientos de tierra.

En las proximidades del río se localizan viviendas livianas construidas de lámina, bahareque con techo de lámina y en menor proporción de ladrillo o bloque de concreto; además, la mayoría de las comunidades de la zona de estudio no poseen los servicios básicos de aguas negras, lluvias y potable, por lo que los habitantes han construido fosas sépticas y sistema de drenaje lo cual no es adecuado desde el punto de vista salubridad.

La mayor parte de los asentamientos humanos del sector son comunidades con más de 10 años de haberse establecido en ese lugar, constituyendo las colonias ilegales o piratas, ya que no reúnen las condiciones físicas, ambientales y de salubridad requeridas para ser propensas al desarrollo físico de la zona.

Para lograr ubicarse mejor en la zona y dimensionar

los alcances del presente estudio, se describen las colindancias del área considerada como crítica tomando como base el recorrido del río. Esto se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Límites geográficos de la zona de estudio con respecto a la trayectoria del río.

COMUNIDADES COLINDANTES	ORIENTACION
Quiñonez Municipal, El Coro Nuevo, Las Casitas, San Martín Privado, San Luis Portales No. 1, El Granjero No, 1 y No. 2, San Martín y Fenadesal Sur.	NORTE
Condominio Atonal, Francisco Morazán, Colonia Santa Marta No. 2, 10 de Octubre, Florida y Las Margaritas.	SUR
Gallegos No. 1, El Carmen y Harrison Step.	PONIENTE
Fábrica EUREKA y Bodegas del BFA.	ORIENTE

En el establecimiento del límite de la zona se consideraron los criterios de selección descritos anteriormente (sección 3.1). La orientación de las comunidades se muestra en la Fig. 3.1

3.3 Comunidades Seleccionadas.

Las zonas que se describen a continuación, son a las que se hizo referencia en el inciso de localización y descripción del sitio del presente estudio (sección 3.2).

Los datos poblacionales presentados en la Tabla 3.2, fueron obtenidos a través de información proporcionada por los directivos de cada comunidad, así como por la agencia de acción social de la unidad de planificación del AMSS de la Alcaldía Municipal de San Salvador (1991).

En base al inventario de comunidades, se determinó la cantidad de viviendas en alto riesgo, además, se hizo un resumen de la problemática que afecta a cada una de ellas, a través de lo cuál se puede notar con mayor claridad, cuales comunidades son las que afrontan mayores problemas.

CAPÍTULO IV

GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

CAPITULO IV
GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 Generalidades.

Este capítulo presenta una descripción sobre la geología del AMSS y sus alrededores, su génesis, características y naturaleza de sus formaciones, distribución y condiciones de los tipos de rocas y suelos existentes. Se presenta además, una sectorización de la zona de estudio, con fines de identificación geológica-geotécnica, dicho conocimiento es uno de los criterios más importantes que debe considerarse en este tipo de trabajos de investigación.

4.2 Descripción Geológica del AMSS y alrededores.

Durante la época de escasa actividad volcánica, desarrollada en el pleistoceno según Schmidt (1978), se formaron los suelos rojizos; observados solamente en algunos lugares: Al Poniente de los Planes de Renderos (en la formación del bálsamo), en el cerro de San Jacinto y en los cerros de Mariona.

En tiempos de calma, de disminución de la actividad efusiva y extrusiva, efectuada en el mismo periodo; las

rocas recién producidas, fueron erosionadas y nuevamente depositadas, en lugares más bajos. Se formaron horizontes de suelo color café, hasta un espesor de 1.5 mts.; así como intercalaciones diagonales de estratificación.

En el pleistoceno, la expulsión de material volcánico en San Salvador, la realizó mayormente el volcán de San Salvador, expulsando cenizas de Lapilli de color café y amarillento, así como tobas aglomeráticas.

Al final de este período geológico, se formó el cráter de explosión de la "Laguna"; al Poniente de Antiguo Cuscatlán, expulsando cenizas de color café con abundantes escorias negras. Siendo el espesor del cúmulo de escorias inmediato al cráter de 25.0 mts. máximo.

Las rocas en San Salvador son de origen volcánico, y consisten en pequeños depósitos que en la escala del tiempo se ubican entre el terciario superior Mioceno y el Holoceno superior, y su secuencia estratigráfica geológica va de los estratos más superficiales o jóvenes a los profundos o antiguos.

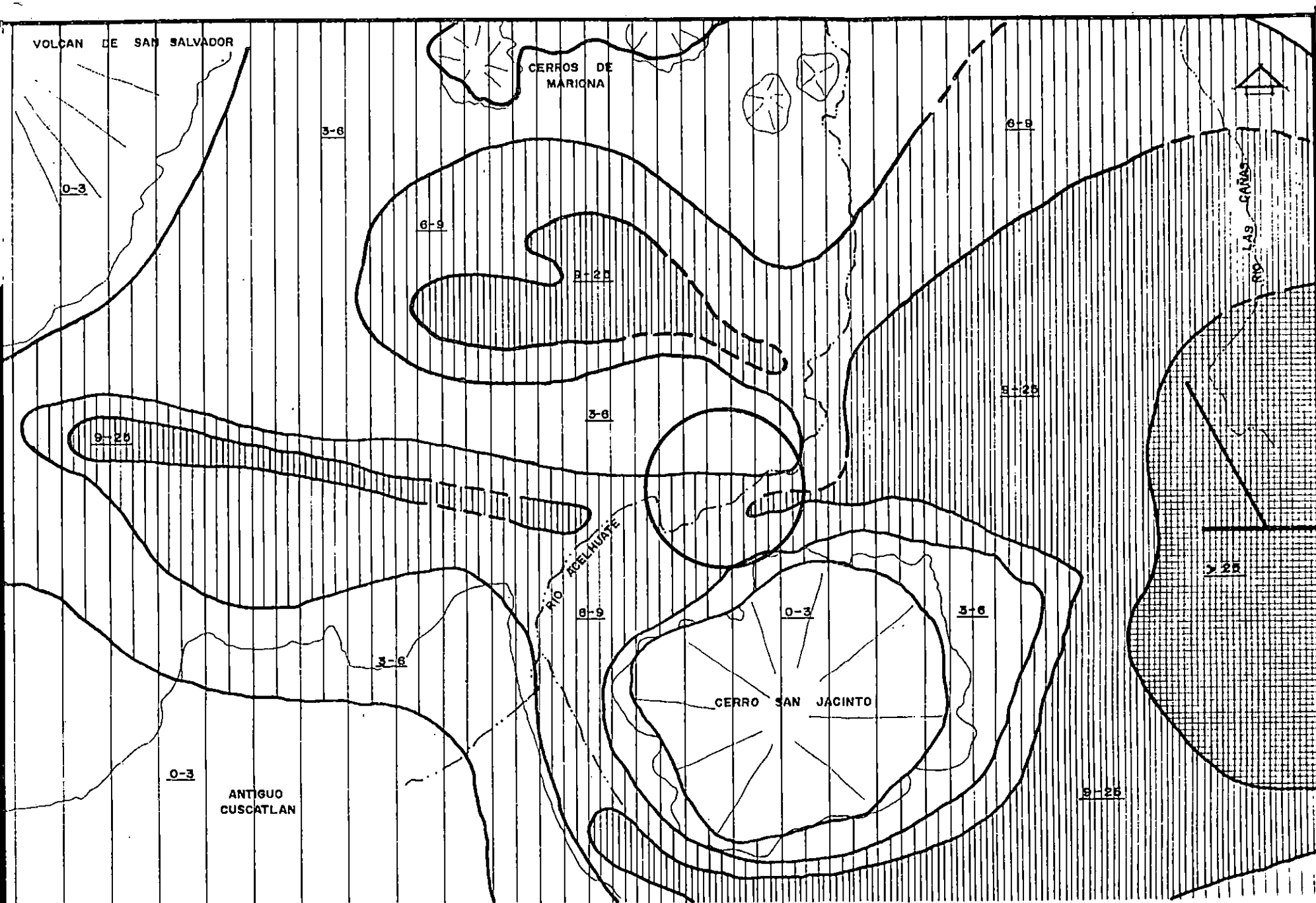
En el Holoceno, la actividad volcánica se trasladó al sector del Lago de Ilopango, se depositaron tobas blancas dacíticas de considerable espesor, ceniza pumítica de Lapilli; el mayor espesor que alcanzan estas tobas pumíticas es de unos 50.0 mts. en las cercanías del lago de Ilopango,

reduciéndose rápidamente al distanciarse a los centros de erupción; por las faldas del Boquerón y del cerro San Jacinto, el espesor mediano es de 4.0 mts. máximo dependiendo del relieve.

Se puede afirmar, que este espesor pumítico varía conforme a la distancia del centro de erupción, lo cual se puede comprobar en toda el área de estudio y sirve como horizonte de guía.

Después del depósito de tobas pumíticas de color blanco, se formaron en la superficie actual, tierras negras; estas fueron y siguen siendo destruidas en mayor escala por influencia andrógenas.

Puede decirse que las cenizas dacíticas (tierra blanca) conforman el subsuelo inmediato propiamente dicho del Valle de San Salvador; su distribución depende, básicamente de los procesos volcánicos que las originaron (orientación, forma e intensidad de las erupciones); los espesores de este material alcanzan valores considerables al Este de la ciudad. Los espesores disminuyen a medida que se alejan de la depresión de Ilopango y son prácticamente nulos cerca de los promontorios o elevaciones que limitan el Valle. En el lado Este de la ciudad se han evidenciado los espesores mayores de 25.0 mts. en los mapas presentados por la misión geológica Alemana, Schmidt (1978), en lo relacionado a los espesores de tierra blanca, (Fig. 4.1),



S I M B O L O G I A

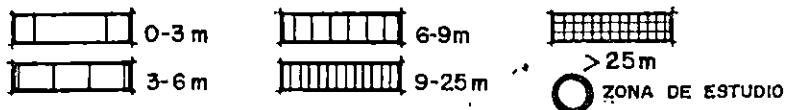


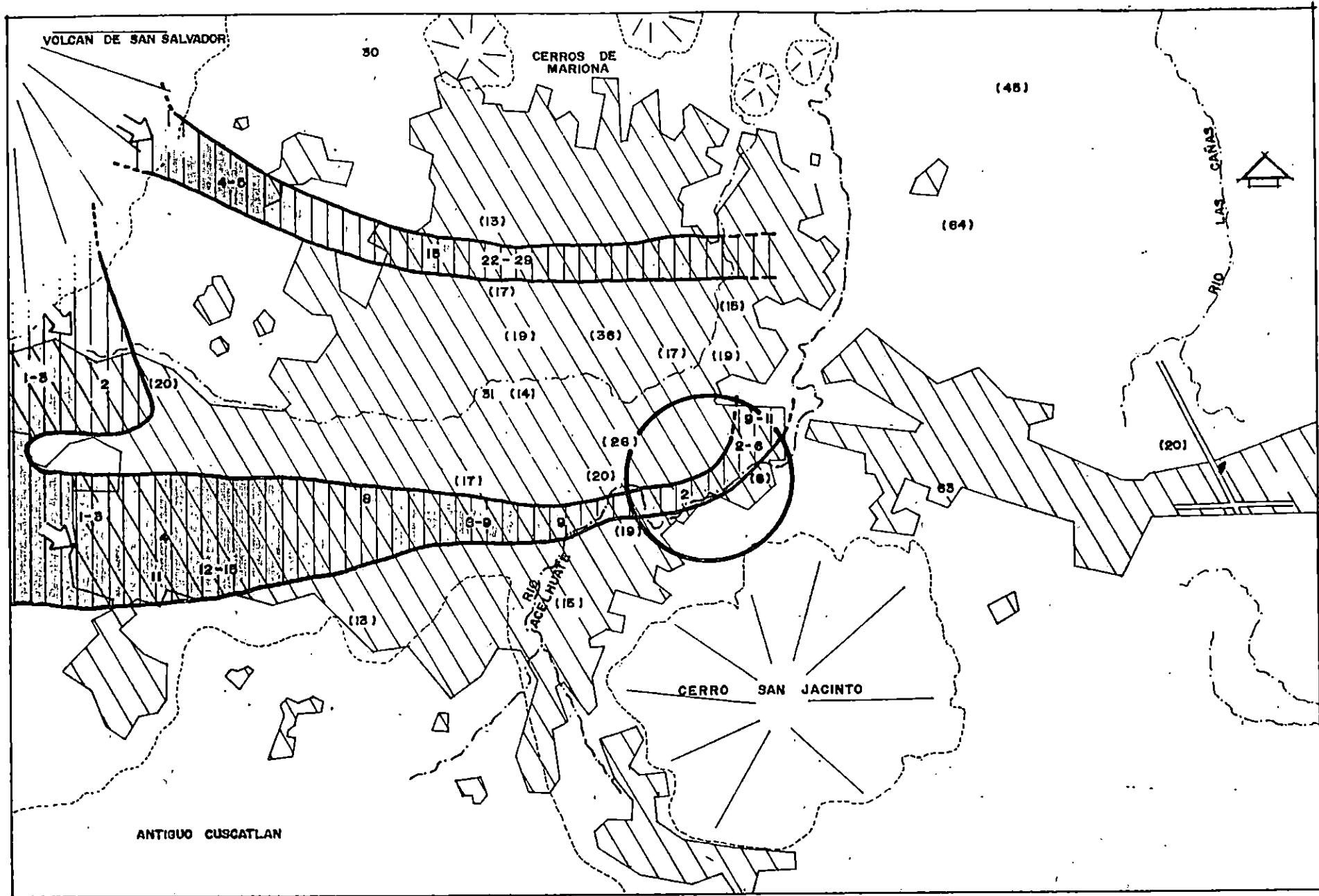
FIG. 4.1 Espesores de tierra blanca en el A.M.S.S. (Schmidt-Thome, 1978)

solo se presenta su espesor pero especifica la profundidad del estrato rocoso, entre el material pomáceo y el basamento rocoso.

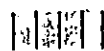
Hacia el Sur-Oeste en las cercanias del volcán de San Salvador, se encuentran lavas, producto de la actividad eruptiva del Boquerón, formando una base relativamente de poca profundidad debajo de tobas color café. El basamento de esta formación está constituido por rocas efusivas que forman por lo menos dos corrientes de lava andesítico-basálticas de grano fino a medio, de textura laminar, escoriáceas en su parte inferior y superior, muy compactas y relativamente resistentes a la meteorización.

Hacia el Sur, hasta aproximadamente a la orilla oriental de la ciudad, las corrientes de lava derramadas son más anchas que las del Norte, encontrándose más o menos a 9.0 mts. de la superficie actual.

La corriente de lava al Norte está situada a una profundidad de 15.0 a 20.0 mts. bajo la actual superficie y se puede trazar al oriente hasta el río Urbina. Por las perforaciones realizadas por Shmidt (1978) y los afloramientos, se puede deducir que tiene un ancho máximo de 500.0 mts. por el Boquerón y se reduce aproximadamente a 250.0 mts. en el extremo Oriente del AMSS. (Fig. 4.2).



L E Y E N D A



CORRIENTES DE LAVA

3 PROFUNDIDAD DE LAVA BAJO LA SUPERFICIE (m)



DIRECCION DE LA CORRIENTE DE LAVA

(6) PROFUNDIDAD DE POZOS EN TOBAS Y TUPJITAS SIN ALCANZAR UN MANTO DE LAVA (m)

FIG. 4.2 - Corrientes de lava en el subsuelo de San Salvador (Schmidt-Thoms, 1978)

En la colonia Escalón se encuentran en la quebrada la Mascota, tobas hasta de 20.0 mts. de espesor, mientras que en el Paseo General Escalón muchas veces se encuentran superficial.

Perforaciones un poco más al Sur del centro de la ciudad, pasaron por tobas de más de 20.0 mts. de espesor, mientras que a una distancia de 100.0 mts. en las vecindades, se encontró lava a una profundidad de 9.0 mts. (Fig 4.3).

Los espesores de lava en todo su recorrido no pueden darse en forma precisa, ya que al hacer contacto con estas, las perforaciones fueron suspendidas, siendo probable que la corriente de lava, si, se encuentra aflorada en todo su espesor en los siguientes lugares : Al Sur del cementerio La Bermeja, en el arenal Monserrat (aproximadamente 5.0 mts. de espesor) y en la colonia La Chacra (máximo 5.0 mts.).

Los espesores de las series de tobas (tobas color café y tierra blanca) aumentan en dirección NE y E. Una perforación cercana a la población de Ilopango, solamente pasó por tobas (máximo de perforación 210.0 mts., Fig. 4.3).

De acuerdo a los estudios efectuados por Shmidt (1978), las corrientes de lava se encuentran parcialmente sepultadas por materiales piroclásticos.

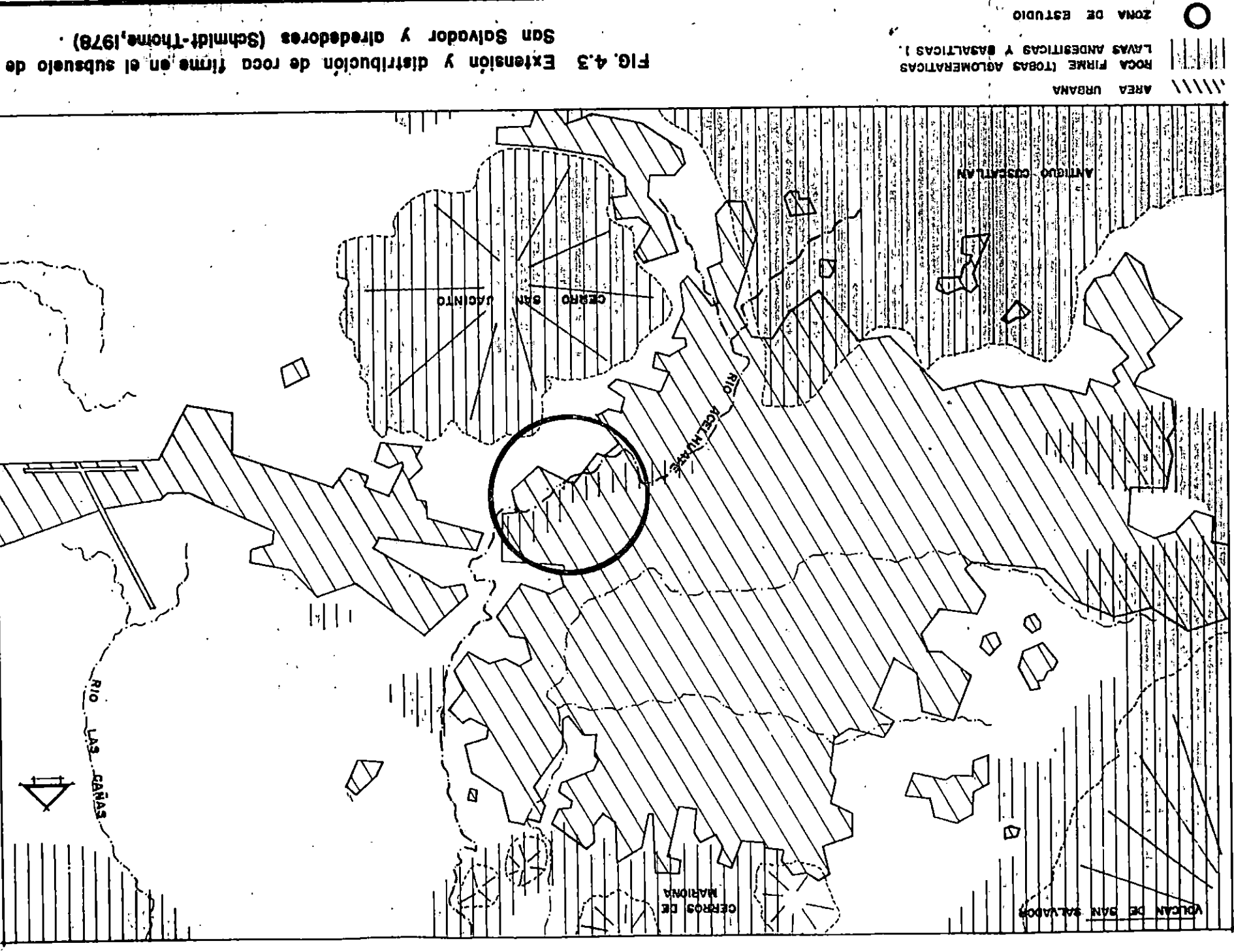


FIG. 4.3 Extension y distribución de roca firme en el subsuelo de San Salvador y alrededores (Schmidt-Thorne, 1978).

ZONA DE ESTUDIO

ROCA FIRME (TOBAS AGLOMERADAS Y LAVAS ANDESITICAS Y BASALTICAS I.)

AREA URBANA

ANTIGUA COSCATLAN

CERRO SAN JACINTO

RIO AGUAZARCA

RIO LAS CAÑAS

CERROS DE MARIONA

VOLCAN DE SAN SALVADOR

Algunas características de ellas son las siguientes :

- Presentan una matriz formada por granos minerales de finos a medios reconocidos generalmente por el empleo de un microscopio petrográfico o de una lupa.
- Su estructura es laminar, es decir, están dispuestos en capas o láminas unas sobre otras en forma paralela.
- Son muy compactas, o sea, densas y además se encuentran bastante sanas sin mostrar evidencias de un proceso avanzado de meteorización.
- Todos aquellos lugares donde se encuentran son los que presentan las mejores condiciones de estabilidad es decir, ofrecen mayor resistencia a los efectos de erosión y la actividad sísmica.

Hacia el Nor-Este en el recorrido del río Acelhuate, próximo al barrio La Vega, los materiales que se encuentran en el lecho son lavas basálticas. Este derrame llega hasta el cauce colgante en el punto donde se inicia el tramo en estudio.

Al Sur-Este de la comunidad Gallegos No. 2 se encuentran derrames de lavas basálticas pero este afloramiento es pequeño y presenta un alto grado de meteorización. Por las manifestaciones de este material en otros puntos de la zona, (como el existente en la colonia La Chacra), se puede deducir que éstas existe en el

subsuelo de la mayor parte de la zona en estudio, subyaciendo los estratos de cenizas volcánicas y tobas. En el tramo restante del río, no se observan afloramientos de lavas andesíticas y basálticas en los estratos superficiales.

4.2.1. Morfología.

El Salvador es un país predominantemente volcánico, su condición morfológica es consecuencia de dicha actividad iniciada en la época terciaria.

Posee una cadena de volcanes y estructuras tectónicas que siguen un alineamiento Este-Oeste; Norte-Sur considerada actualmente como de actividad tectónica-volcánica, que se refleja en su situación sísmica.

La ciudad de San Salvador está ubicada en la parte más baja del valle del mismo nombre. Limitada al Norte por el cerro de Mariona (798 msnm), al Sur por el cerro de San Jacinto (1154 msnm), al Este por el lago de Ilopango (450 msnm) y al Oeste por el volcán de San Salvador (1967 msnm).

El sistema natural de drenaje del valle de San Salvador, Posada M. (1986), está formado principalmente por las quebradas de Mejicanos, Tutunichapa y Monserrat, que

van de Oeste a Este y de Sur a Norte hasta el valle bajo del río Lempa, lo mismo que por una gran cantidad de quebradas secundarias.

Dentro del valle de San Salvador existen áreas cuya morfología es ondulante; esta es típica de las zonas que circundan los macizos volcánicos y principalmente toda la zona que comprende las faldas del volcán de San Salvador, en el extremo occidental del valle del mismo nombre. Esta zona es propensa a los efectos de erosión y sedimentación de materiales.

El sistema de drenaje natural crea zonas de morfología bastante quebrada, en las cuales se han asentado familias de escasos recursos económicos, originando las conocidas zonas marginales. En el valle siempre hay planicies naturales de las cuales la más destacable es la que domina el lado Nor-Este de la ciudad.

4.2.2 Geomorfología.

Los procesos geológicos que originaron los suelos superiores de San Salvador, presentan una estratigrafía uniforme; las cenizas se encuentran tal como se depositaron.

Hay zonas donde el relieve del terreno hace que el suelo sea propenso a erosionarse, de acuerdo a la pendiente

gobernante, produciéndose entonces surcos de erosión.

También, la superposición de diversos eventos volcánicos y procesos hexógenos (viento, temperatura, lluvias, etc.) producen una distribución heterogénea y discordante de todos los materiales efusivos y piroclásticos. La zona Oeste de la ciudad, especialmente la que comprende las faldas del volcán de San Salvador, presenta este tipo de estratificación.

Los procesos geológicos que conlleva el sistema natural de drenaje en el valle de San Salvador, crean zonas de sedimentación cuya naturaleza y estratigrafía difieren del resto del área, la cual es predominantemente de origen volcánico.

4.2.2.1 Erosión hídrica.

En el desarrollo topográfico de la superficie terrestre, el agente que tiene mayor importancia es el agua, debido a que es este agente el que va modelando la superficie y dejando características de disección y variación en espesores y contenidos granulométricos en los estratos, debido al material de roca o suelo que lo acompaña. Ya que la mayor parte del material que constituyen las rocas sedimentarias fue transportado en épocas pasadas por la escorrentía superficial.

Puede decirse que erosión es : El proceso mecánico que conduce a la construcción y destrucción de las formas del relieve terrestre mediante la intervención de agentes exógenos sobre la superficie, tal proceso comprende tres etapas principales :

- Desprendimiento (roca, suelo o combinado).
- Transporte (corto o largo).
- Depositación.

El moldeo superficial que se produce en cada una de estas fases, es parte del ciclo erosivo cuya finalidad es lograr el perfil del equilibrio morfológico terrestre.

Toda corriente, necesita desarrollar fuerza dinámica para transportar partículas, sobre todo para levantar los sedimentos del fondo una vez que estos han sido recogidos.- Si se aumenta la velocidad, se incrementa el transporte de las partículas, explicándose así, el transporte de bloques de gran peso.

En un río el proceso de erosión se da cuando la cantidad de material sólido que este es capaz de mover, es mayor que los sedimentos arrastrados por la corriente en un momento dado.

De acuerdo a Aguilar R. (1985) cada tipo de corriente se puede adaptar a las partículas de material que presentan diferente granulometría; es así como los cantos

rodados generalmente son transportados por tracción a velocidades que oscilan entre 5 y 8 Km/h, al haber crecidas, que es cuando tiene lugar casi todo el transporte fluvial.

El transporte de las arenas se hace a velocidades mayores que el de los cantos rodados; en las arcillas su transporte se efectúa en suspensión coloidal, debido a ellos es que los ríos en su tramo medio presentan un aspecto de turbidez.

El proceso de erosión se inicia con la precipitación atmosférica, al golpear las gotas de agua en forma directa sobre la superficie de las rocas removiendo de ellas partículas que luego se mantienen en suspensión.

El ataque ocasionado al suelo por el agua se realiza tanto en la profundidad de su perfil, como en la superficie, en la cual, las partículas del suelo son arrastradas aisladamente.

Cuando las características que presenta el suelo permiten en todo momento la infiltración de una cantidad de agua igual o superior a la que se ha precipitado, no se produce ninguna corriente superficial; caso contrario se forma una lámina de agua que puede llegar a ponerse en movimiento a causa de la pendiente del terreno, que según Darcy, está gobernada por la pendiente, la permeabilidad y la geometría del estrato mojado ($Q=KiA$).

En el proceso erosivo la acción de escorrentía se manifiesta superficialmente, transportando a diversos lugares a aquellas partículas, que por su tamaño y forma son fáciles de arrastrar y, disgregando los elementos " terrosos ".

Si la cantidad de agua precipitada es un volumen considerable, la acción producida por la escorrentía superficial puede ser catastrófica, ya que arrastra la capa de suelo que sirve de sostén a la cubierta vegetal, dejando al descubierto a la roca madre.

4.2.2.2 Acción erosiva.

Después de las grandes lluvias, los torrentes, aun en los cauces más pequeños, comienzan a transportar todo tipo de material que sea arrastrado por el agua; debilitándose la resistencia del lecho y aumentando la erosión, debido a que la carga que corre por el lecho del río, está en movimiento irregular constante, golpea contra el fondo del río e intensifica los remolinos.

La erosión ocasionada por el arrastre de las aguas fluviales produce la excavación del cauce del río y el modelado de las vertientes. La acción que ocurre sobre el cauce es de ahondamiento y sus resultados pueden tipificarse como : Excavaciones, carcavamientos, socavación e incizado en el fondo o lateralmente.

Debido a la erosión a que se ven sometidas las vertientes del río, según Clará (1985), se producen aguas sin control alguno, las cuales tienden a formar arroyos tributarios y a desgastar las márgenes del río por el desplazamiento fluvial. Si las rocas que forman la pared de la vertiente son duras, la erosión del cauce no es muy intensa; por tanto, el río corre encausado entre escarpados y angosturas; todo lo contrario ocurre si las paredes del valle son de roca blanda, ya que la erosión es tan intensa que el río se desarrolla en anchura, como ocurre en muchos tramos del río Acelhuate.

Un proceso de erosión será de mayor o menor intensidad, según la cantidad de agua que circula por la superficie terrestre y su fuerza de arrastre, así como el tipo de material que encuentren a su paso.

Un factor que en el país aumenta la erosión de los ríos y quebradas aledañas, es el inadecuado diseño de desagües de aguas negras y lluvias, colocados y/o vertidos en los ríos directamente y sin ningún tratamiento; haciendo vulnerables los taludes que conforman las márgenes del río a fenómenos geodinámicos como los derrumbes e inundaciones.

Específicamente en el río Acelhuate, el problema se ha agravado por la expansión del área urbana de San Salvador, que ha conducido a la concentración de aguas de drenaje, elevando así los caudales de las crecidas. El resultado, es

la amenaza de dañar cualquier forma de infraestructura urbana existente como efecto de la erosión.

Las secciones del río Acelhuate necesitan protección contra la erosión lateral de que son objeto, evidenciándose que la mayor parte de la erosión se manifiesta en el lecho del río, y en sus márgenes.

4.2.2.3 Erosionabilidad.

El principal agente de la erosión, es el agua, que contribuye en gran medida al desprendimiento, remoción y arrastre de materiales poco cohesivos. De acuerdo a investigación efectuada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG (1979), la cantidad de arena depositada y el movimiento del suelo en el fondo del río Acelhuate, confirma las acumulaciones de toneladas de materiales que éste transporta.

4.2.2.4 Socavación y erosión regresiva.

Socavación.

La socavación es un problema muy importante que debe ser considerado en el desarrollo del perfil y fondo de los ríos, ya que cuando se da este efecto, se produce remoción de los materiales.

La falta de contacto entre partículas removidas

durante la socavación, provocan la inestabilidad, ocasionando asentamiento en los estratos del terreno.

Según Posada M. (1986), dependiendo del lugar por donde el agua circula, la socavación se puede producir más frecuentemente en los siguientes lugares :

Estrechamientos.

Producida por el aumento de la capacidad de arrastre de los sólidos, cuando la corriente aumenta su velocidad debido a la reducción del área hidráulica en su cauce. Este efecto debe considerarse en el diseño de puentes, los cuales suelen construirse en los mencionados estrechamientos, produciéndose cambios en la corriente.

Curvas.

Se efectúa cuando existe una tendencia en los filetes líquidos situados más lejos del centro de curvatura de los ríos a describir una curva, siendo en esta parte exterior del cauce, la capacidad de arrastre y la profundidad de erosión mayores que en el interior del cauce.

Pilas.

Este efecto es de vital importancia en cimentaciones poco profundas, sobre todo cuando se colocan pilas de puentes en las corrientes del río; en el cual, se produce un cambio en las condiciones hidráulicas de la corriente del

mismo, por tanto en la capacidad de arrastre del sólido si ésta supera localmente al aporte del gasto sólido del cauce, ocurrirá en la pila una socavación local.

El problema de socavación en pilas requiere de mayor atención debido a que la obstrucción producida por los pilares de los puentes, localmente modifica la morfología del cauce, y aumenta la socavación, produciéndose deslizamiento del suelo que constituye el fondo en casi todo el ancho y largo del mismo río.

De allí, la importancia de determinar la profundidad mínima de fundación de un pilar o muro, tomando en cuenta los parámetros de crecida máxima del río Acelhuate.

A lo largo del tramo en estudio, se observa socavación al pie de las escasas estructuras existentes; ejemplos relevantes : Los pilares del puente de acceso a la comunidad Morazán, los muros de mampostería en la comunidad Gallegos No. 2 y los gaviones de las comunidades Atonal y el Granjero. Cabe hacer notar, que en todas estas estructuras se hace necesario tomar medidas urgentes de prevención para evitar su fallamiento.

4.3 Sectorización de la zona de estudio con fines de identificación geológica.

La descripción geológica del área de estudio está basada en las visitas de campo efectuadas; en las que se pudo identificar superficialmente los materiales que componen sus riberas así como la estratificación conformada de los taludes a lo largo del cauce.

La geología del tramo en estudio, Fig. 4.4, se ilustra y describe de acuerdo a características similares de los materiales " insitu ", y para ello, se considera que dicho tramo puede dividirse en cinco sectores.

Según el mapa geológico de El Salvador, elaborado por la Misión Geológica Alemana (1978), el sitio está localizado en la formación San Salvador, conformado principalmente por cenizas volcánicas poco consolidadas; además, en los lechos y laderas del río se identifican : Tobas alteradas, lavas basálticas y andesíticas, aluviones fluviales, cenizas volcánicas de color blanco, así como sedimentos meteorizados, la descripción general de los estratos se muestra en la Tabla 4.1, se han tomado como referencia los conceptos geológicos vertidos por Legget R. (1964).

Tabla 4.1 Descripción general de los estratos de suelo en el tramo de estudio del río Acelhuate.

Estrato	Descripción
Aluviones	Depósito compuesto por sedimentos de granulometría fina, completamente saturado, los materiales están sin cementar.
Sedimentos meteorizados	Formados en su mayor parte por arenas finas compactas producto de la desintegración de las rocas por procesos exogenéticos. Este estrato está saturado.
Cenizas Volcánicas	Depósito piroclástico cementado, compuesta por un pómez de granulometría muy fina de composición dacítica; predominantemente de color blanco, son poco consolidadas y de fácil erosión.
Lavas basálticas y andesíticas	Las primeras igneas, provenientes de coladas lávicas, predominantemente del volcán de San Salvador (Boquerón), compuesta esencialmente de plagioclasa y piroxeno. Las segundas compuestas esencialmente de biotita, hornablenda y piroxeno.
Tobas alteradas	Formadas de fragmentos piroclásticos, predominantemente de color café, interestratificadas localmente con cenizas y escorias. Son el equivalente endurecido de las cenizas o polvo volcánico.

Es importante hacer notar que los estratos de aluviones y sedimentos meteorizados, son poco resistentes a la erosión y al sufrir la acción del agua que corre por el río, son socavados, permitiendo que los estratos superiores no tengan base de sustentación, lo que conduce a que en estos se formen fisuras o grietas verticales las cuales al desarrollarse llevan al desprendimiento del mismo.

La tierra blanca por su misma naturaleza, es un material de poca estabilidad debido a su escasa edad geológica y principalmente por estar totalmente desprovista de una cubierta vegetal adecuada, se erosiona con facilidad cuando las lluvias arrecian con mucha intensidad.

Lo descrito anteriormente permite hacer notar los incrementos en la profundidad y en lo ancho del río Acelhuate, conllevando así a una disminución del área efectiva para el desarrollo urbano de la ciudad de San Salvador y a un peligro potencial para las viviendas construidas en sus alrededores. Debido a que los sedimentos fluviales son los materiales más jóvenes, por su reciente arrastre y depositación. La depositación de estos sedimentos es transitoria, ya que el agua misma se encarga de removerlos constantemente, razón por la cual la topografía varía frecuentemente.

Los sedimentos fluviales se encuentran formando el cauce del río, los cuales al ser arrastrados por la

corriente del agua agravan el problema de la erosión, profundizándose por consiguiente el lecho del río.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, se puede considerar el área de estudio como una zona potencial de deslizamientos, prueba de ello es la evidencia de que los muros de retención construidos para evitar que la energía cinética del agua socave las márgenes del río, han sido completamente destruidos, además el empuje del suelo hacia el muro.

Se debe tomar en cuenta también, que los sedimentos fluviales, por ser fácilmente erosionables por la corriente del río, permiten que la base de los muros sea socavada, contribuyendo de esta manera a su inestabilidad.

La falta de vegetación adecuada en esta zona, permite que la esconrrentia superficial haga estragos en el suelo, lo que se inicia con pequeñas fisuras o grietas, que se van agrandando hasta formar surcos y cárcavas de dimensiones considerables que deterioran la morfología del terreno y por consiguiente, hacen de esta zona un peligro potencial para las viviendas y sus moradores.

En lo referente a las cenizas volcánicas, se puede decir que aunque confieren una capacidad de carga relativamente buena, presentan el problema de ser fácilmente erosionables lo que conduce a que las áreas o zonas

(colonias) como las personas que habitan la zona, estén en un peligro potencial constante por el alto grado de erosionabilidad que experimenta el sector.

La sectorización a lo largo del río Acelhuate y sus alrededores y el mapeo de la geología, en correspondencia con la problemática en las comunidades, es la siguiente (Fig. 4.4).

SECTOR I.

Formado por las comunidades : Florida, San Martín, Gallegos No. 1 y No. 2 y Harrison Step.

En este sector en el que se evidencian los cinco estratos característicos mencionados en la sección 4.3.

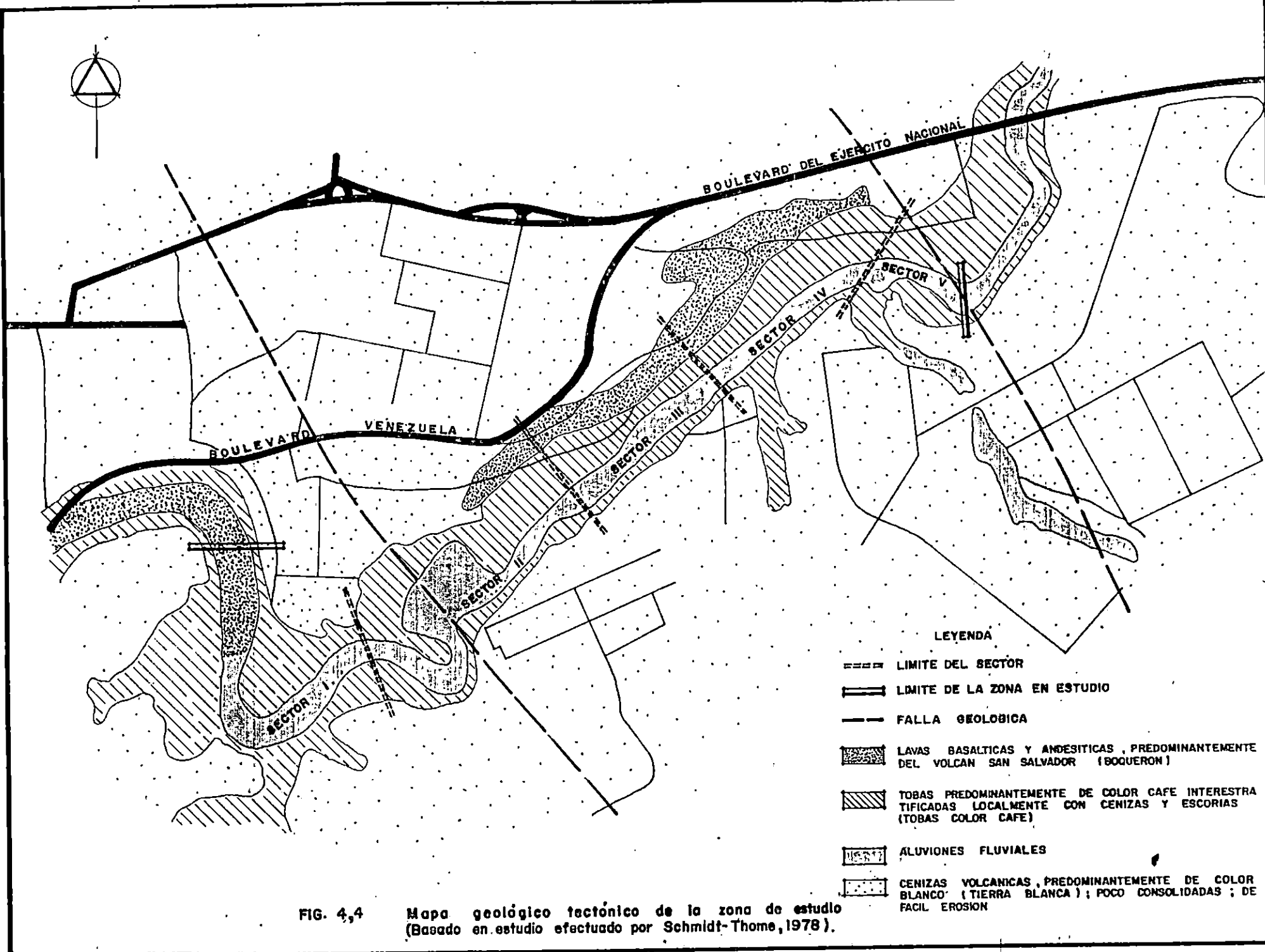
La comunidad Gallegos No. 1 presenta en sus taludes, tobas cementadas hacia el Norte y cenizas volcánicas anteceditas de tobas del tipo pumítico hacia el Sur, en comunidad Gallegos No. 2 se evidencian formaciones tobáceas de color café en sus taludes junto con los sedimentos fluviales depositados por el río. La altura de estos taludes oscila entre (2.5 y 4.0 mts.), en la comunidad Harrison Step, se evidencian sedimentos y aluviones fluviales en la parte inferior del talud, sobrepuesto por un estrato de toba del tipo pumítico y posteriormente cenizas volcánicas con un espesor aproximado a 20.0 mts.; entre comunidad Gallegos

No. 2 y comunidad San Martín, se encuentran depósitos de arena de aproximadamente 1.0 mt. de espesor, y justamente al frente de la comunidad San Martín, se observa una colada de lava del tipo basáltica con agrietamiento en sus macizos rocosos, los cuales en su parte inferior han adquirido poco a poco la forma natural del cauce del río. En el margen de las comunidades San Martín y Florida, se evidencian formaciones tobáceas. En base a lo anterior, las condiciones geológicas que gobiernan el sector están mapeadas en la Fig. 4.4.

SECTOR II.

Formado por las comunidades : El Granjero No. 1 y No. 2, Fenadesal Sur, 10 de Octubre y Las Margaritas.

Los materiales característicos de este sector son : En sus estratos superiores; ceniza volcánica de color blanco y formaciones tobáceas en un menor porcentaje en su estrato inferior; sobre todo en las comunidades El Granjero. Los taludes que rodean la comunidad 10 de Octubre, presentan en su parte inferior tobas del tipo pumítico, compactas, con un espesor aproximado de 1.0 a 5.0 mts. y en su parte superior cenizas volcánicas predominantemente de color blanco con un espesor aproximado de 7.0 mts.; cerca del puente del ferrocarril próximo a esta zona, se forma un meandro entre materiales tobáceos de color café bien compactos, (Fig. 4.4).



LEYENDA

- LIMITE DEL SECTOR
- === LIMITE DE LA ZONA EN ESTUDIO
- - - FALLA GEOLOGICA
- [Stippled Box] LAVAS BASALTICAS Y ANDESITICAS, PREDOMINANTEMENTE DEL VOLCAN SAN SALVADOR (BOQUERON)
- [Diagonal Hatching Box] TOBAS PREDOMINANTEMENTE DE COLOR CAFE INTERSTRATIFICADAS LOCALMENTE CON CENIZAS Y ESCORIAS (TOBAS COLOR CAFE)
- [Cross-hatching Box] ALUVIONES FLUVIALES
- [Dotted Box] CENIZAS VOLCANICAS, PREDOMINANTEMENTE DE COLOR BLANCO (TIERRA BLANCA); POCO CONSOLIDADAS; DE FACIL EROSION

FIG. 4,4 Mapa geológico tectónico de la zona de estudio (Basado en estudio efectuado por Schmidt-Thome, 1978).

SECTOR III.

Formado por las comunidades : San Martín Privado, San Luis Portales No. 1, Bolívar y Francisco Morazán.

La geología del sector, al igual que los dos sectores anteriores, corresponde a los periodos geológicos del pleistoceno y holoceno; en las tres primeras comunidades mencionadas, los taludes presentan la siguiente estratigrafía : Cenizas volcánicas predominantemente de color blanco, subyacidas por pequeñas capas de tobas y aluviones fluviales, depositados por el río. En las márgenes de la comunidad Morazán, se evidencia en su parte inferior : Tobas del tipo punitico con espesores aproximados de 2.0 mts., en la parte superior a este estrato, cenizas volcánicas con un espesor aproximado de 5.0 mts., además se evidencia capas de sedimentos fluviales (Fig. 4.4).

SECTOR IV.

Formado por las comunidades : Quiñonez Municipal, El Coro Nuevo y Las Casitas.

La geología que presenta este lugar, corresponde a los periodos del pleistoceno y holoceno, observándose en sus márgenes tobas de color café interestratificadas localmente con cenizas y escorias, y en su parte superior con espesor de hasta 1.0 mt., cenizas volcánicas predominantemente de

color blanco, así como de sedimentos fluviales depositados por el río (Fig. 4.4).

SECTOR V.

Formado por condominio Atonal y sector colindante a fábrica EUREKA.

La geología que presenta el lugar corresponde al periodo geológico del pleistoceno y holoceno, observándose en su margen Nor-Este tobas predominantemente de color café, interestratificadas localmente con cenizas y escorias; las tobas son del tipo pumítico. En la parte superior a este estrato se encuentran cenizas volcánicas predominantemente de color blanco (tierra blanca). En la parte Oeste de esta estratificación se observan tobas de pómez de color café amarillento de aproximadamente de 2.0 mts. de espesor. Al Oeste de la colonia Atonal se presentan tobas color café en su parte inferior, seguidas de cenizas volcánicas, evidenciándose además aluviones y sedimentos fluviales de diferentes tamaños, depositados por el río (Fig. 4.4).

4.4 Aspectos sobre sismicidad de la zona.

El Salvador se localiza en la zona de mayor riesgo sísmico, sobre el cinturón de fuego en el Océano Pacífico, entre la fosa de Mesoamérica y la falla de Motagua, en la

placa del caribe.

El país ha sufrido desde 1520 (Martínez H., 1980), alrededor de 40 sismos severos con una intensidad superior al grado VII en la escala de Mercalli Modificada. San Salvador ha soportado el 47% de ellos.

La actividad sísmica ha tenido su origen en el Océano Pacífico, principalmente en una zona de corrimiento entre las cortezas continental y oceánica; produciéndose los focos más profundos en una franja paralela muy próxima al litoral.

Se podría decir entonces, que los focos superficiales son los responsables de los eventos más destructivos en la historia sísmica del país.

El área metropolitana de San Salvador, geológicamente, se encuentra ubicada en una zona de depresión o fosa tectónica, concordante con su morfología, y próxima a volcanes de gran riesgo, como el de San Salvador y el de Ilopango; zona donde ocurren frecuentemente temblores; y es popularmente conocida por " El Valle de las Hamacas ".

En esta zona la naturaleza del movimiento del terreno provocado por un sismo, es bastante compleja. Infiriéndose que cualquier decisión para planificación urbana o para diseño sísmoresistente, deberá basarse en el conocimiento de las características de probables sismos; basados en un mapa

de zonificación sísmica, el cual muestra parámetros relacionados a frecuencia esperada y a la intensidad de vibración que puede ser causada por sismos futuros en la vecindad del lugar. Las influencias de las condiciones del suelo, caen en el dominio de la microzonificación sísmica.

Según Martínez, M. (1980), San Salvador se encuentra en una área de actividad volcánica donde hay eventos de origen tectónico asociados al vulcanismo y a fallas geológicas, como el sistema de fallas con rumbo aproximado N 60° W que está asociado al fallamiento local y que constituye el de mayor peligro. Dicho sistema fue el causante del terremoto del 3 de Mayo de 1965.

Debe tomarse en cuenta que la predicción del lugar exacto de un evento sísmico es imposible; pero, el conocimiento de los fenómenos sísmicos que nos afectan y la investigación, aportan datos para la divulgación y normalización sobre los proyectos que implica el desarrollo de los asentamientos humanos. Por ello deben considerarse varios aspectos relacionados con la sismicidad del lugar, tal como los deslizamientos, licuefacciones, inundaciones, etc., que constituyen los peligros geológicos de la zona.- (Algermissen T., 1983).

Para efectos de que estos estudios sean más útiles y representativos en el análisis de las condiciones sísmicas, se deberá recopilar la información existente acerca de la

actividad sísmica local (Alva J., 1991); con el propósito de establecer un banco de datos sobre las características del suelo al momento de planificar la delimitación de zonas de protección y diseño de obras de protección.

CAPITULO V

ASPECTOS GEOTECNICOS

CAPITULO V
ASPECTOS GEOTECNICOS

5.1 Generalidades.

En el estudio geotécnico, se hace necesario un conocimiento lo más acertado posible sobre las propiedades del suelo, lo que implica, la determinación de los distintos tipos de suelo, espesor de sus capas, estratificación, condiciones de humedad, etc., lo cual será de fundamental importancia para preveer las condiciones, a que éste va a estar sometido al momento de diseñar las fundaciones de cualquier tipo de obra proyectada en el lugar.

Puede decirse, que los problemas geotécnicos, abarcan una amplia gama de aspectos (urbanísticos, arquitectónicos, etc.) por lo que se hace necesario considerar los elementos que servirán en la práctica para la identificación preliminar de dichos problemas, en las áreas de proyectos de interés.

Para realizar la investigación fué necesario fijar puntos de interés definidos en base a criterios geotécnicos, de acuerdo a la importancia de la misma, o sea la determinación de obras de protección diseñadas adecuadamente así como la distancia segura a que pueden construirse viviendas con respecto a la orilla del talud.

5.2 Suelos del área metropolitana de San Salvador (AMSS)

Los suelos del AMSS están constituidos básicamente de productos piroplásticos de características friccionantes (cenizas volcánicas) en las que predominan las pómez, que es un silico-silicato de aluminio y hierro generalmente ácido de baja densidad como espuma solidificada, el gran desprendimiento de gases ocurrido en su formación originó los huecos y tubos intercomunicados de apariencia fibrosa.

El ácido silícico que contiene aparece en forma hidratada y soluble en los alcalis, y hace que tenga en ocasiones efectos puzolánicos; aparece bajo diversas tonalidades de color blanco, gris acero, gris verdoso, rosado, gris intenso, según sea la composición química.

La forma de los granos es equidimensional y su textura es rugosa, la distribución granulométrica varía, pero basado en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) se clasifica como un limo arenoso con características de cementación (ML) o una arena limosa con características de cementación (SM), de muy baja plasticidad; los porcentajes de arena de pómez que contiene varía del 10% al 80% y en ocasiones se presentan como arena pumítica limpia (SP). Las cenizas volcánicas poseen una cementación y aparente o cohesión, manifiestas en la verticalidad de los taludes naturales.

Los espesores de los estratos son variables, estos pueden variar de 1.0 a 10.0 mts. dependiendo del tipo de suelo presente. En ocasiones se encuentran cascajos volcánicos intemperizados en forma de arena arcillosa (SC) de baja plasticidad, formando estratos de pequeños espesores, subyaciendo las cenizas volcánicas. A mayor profundidad se encuentran formaciones de rocas basálticas o andesíticas.

En base a los estudios realizados por la Mision Geológica Alemana (1969), se determinó en general, que los suelos del AMSS, son arenas limosas (SM) o limos arenosos (ML); no obstante, en las cercanías de los macizos volcánicos, se encuentran suelos con características arcillosas (arcillas limosas, arenas arcillosas, etc.) que se intercalan con suelos de características friccionantes. Estos suelos se han formado como consecuencia del arrastre de los materiales intemperizados de las zonas altas del volcan de San Salvador, donde la meteorización es mayor, resultado de la condición climática; además, estos suelos se presentan en la formación del balsamo que constituye la montaña costera, límite Sur del AMSS.

Como resultado de las erupciones sucesivas del volcán de San Salvador en diversas épocas (ver Capitulo IV) se encuentran flujos de lava y materiales piroplásticos de grano grande (mayores de 4 mm.) en la zona Oeste de San Salvador, que pueden clasificarse como GP, GC, SP y SC

principalmente. Anexo 5.1.

El fondo del valle de San Salvador está cubierto de depósitos fluviales jóvenes de origen volcánico que se alojan en pequeñas planicies fluviales a lo largo de ríos y quebradas; sin embargo, por acción de meteorización pueden encontrarse suelos negros inorgánicos u orgánicos con espesores de hasta de 1.5 mts., en los cuerpos de talud subyaciendo las cenizas volcánicas.

5.3 Suelos predominantes en la zona de estudio.

En el río Acelhuate como en sus alrededores; predominan cenizas volcánicas cementadas, arenas erodadas en superficie, arenas de pómez, tobas de pómez con más resistencia a la erosión que las cenizas volcánicas, tobas cementadas color gris y lavas andesíticas y basálticas con mayor resistencia a la erosión que todas las anteriores.

Los taludes que conforman las riberas del río Acelhuate alcanzan alturas de hasta 30.0 mts., (Foto 5.1) y están constituidos en su mayor parte por suelos granulares cementados entre los que se encuentran en mayor proporción las cenizas volcánicas, sobre todo en los estratos superiores con altos contenidos de pómez (Foto 5.2).

Los taludes observados en la zona, generalmente, se

encuentran con la distribución estratigráfica siguiente :
 Limos arenosos cementados color blanco (ML) en la corona
 del talud, suelos orgánicos color negro (OL) mezclados con
 cenizas y arenas limosas cementadas (SM) en el cuerpo del
 talud; y arenas de pómez cementadas al pie del mismo
 (Foto 5.3 y Fig. 5.1).

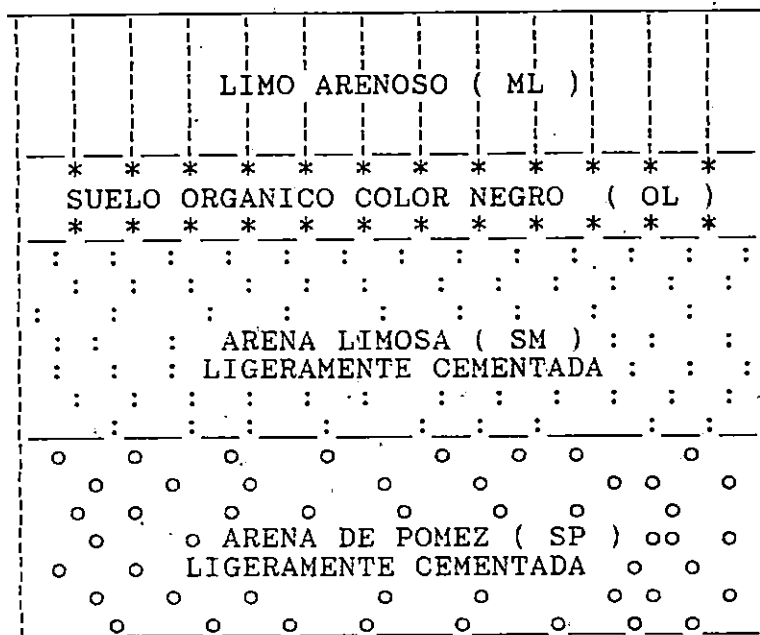


Fig. 5.1
 Perfil estratigráfico de los suelos,
 típicos de la zona de estudio.

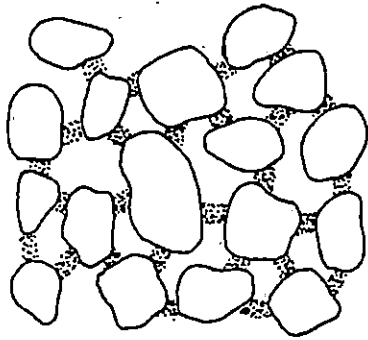
Ocasionalmente se encuentran tobas color gris al pie
 de algunos taludes, como en el caso de las comunidades
 Gallegos No. 2 y Quiñonez; también se encuentran capas de
 suelo orgánico negro de baja plasticidad subyaciendo las
 arenas limosas, y estratos de lahares y cantos rodados
 mezclados con arena gris y pómez. (Fotos 5.4, 5.8 y 5.9).

De acuerdo con la conformación y tipos de material predominantes que definen dichos taludes, estos pueden mantener su verticalidad hasta 50.0 mts.; característica que puede compararse con los taludes que se definen en los alrededores de la depresión del lago de Ilopango.

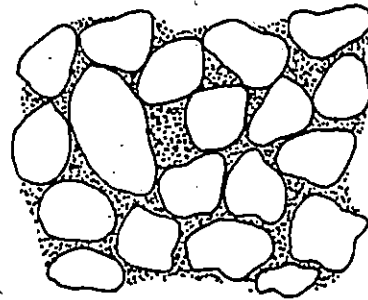
Según Sitar, Nicholas (1979) la cementación aparente de estos suelos y que se manifiesta en taludes verticales de gran altura, se debe a la trabazón que existe entre las partículas, y a la tensión capilar. Estos dos procesos producen efectos similares a los producidos por agentes cementantes, los cuales pueden haberse incorporado al suelo al momento de la depositación, por percolación del agua subterránea, o por el intemperismo de minerales presentes en la masa de suelo.

La trabazón mecánica de los granos se produce debido a la angulosidad de las partículas de pómez, contenida en las cenizas volcánicas. La tensión capilar, es la que produce el incremento de los esfuerzos efectivos en el suelo.

Según Sowers y Sowers (1970) los suelos cementados por su estructura, pueden ser; de bordes de vacío y de bordes de contacto, como se muestra en la Fig. 5.2.



Bordes de contacto



Bordes de vacío

Fig. 5.2 Tipos de estructuras en suelos cementados
(Sowers y Sowers, 1970).

Estructura de bordes de contacto.

Las partículas individuales se encuentran cementadas en los puntos en contacto y también contienen huecos de vacío entre las partículas. Este tipo de estructura, se encuentra en suelos con altos contenidos de arenas o partículas de tamaños más grandes como las gravas; puede perder resistencia repentina si los bordes en contacto entre partículas se quiebran debido al reacomodo de las partículas individuales cuando se mueven dentro de una configuración densa, como por ejemplo : Los suelos de arena de pómez.

Estructura de borde de vacío.

Tiene los espacios entre partículas grandes, llenos de partículas más pequeñas y de agentes cementantes. Este tipo de estructura es más estable que la de bordes en contacto; es característica en los suelos que contienen altos porcentajes de limos y arcillas.

A lo largo del tramo se observan estos dos tipos de estructuras en los suelos que conforman los taludes, muchos de los cuales son de gran altura como en las comunidades: Harrison Step, El Granjero, 10 de Octubre y Morazán; los que a simple vista parecen estables en estado natural, pero fallan cuando están expuestos a socavación en su base, por las corrientes del río, saturación en la corona y el cuerpo por descarga de aguas servidas, y tectonismo. Todos estos factores contribuyen a que se produzcan los deslizamientos de suelo en la zona.

Solamente en afloramientos de cenizas volcánicas de gran espesor, se presentan las tobas de color café más consolidadas. La compacidad de las tobas de color café es variable, esto depende principalmente del grado de consolidación natural; sin embargo, si los afloramientos horizontales de las tobas de color café se exponen a las fuertes lluvias o a las corrientes de agua, estas son rápidamente erosionadas a considerables profundidades originando fuertes surcos erosivos sobre áreas desprovistas

de vegetación.

El cauce del río está formado por sedimentos fluviales y boleos, los cuales por ser fácilmente removibles, al ser arrastrados por las corrientes de agua, erosionan y socavan la base de los muros construidos en las riberas, ocasionando por una parte la profundización del cauce, y por otra la inestabilidad de las estructuras existentes.

La socavación ocasionada por las corrientes fluviales, se presenta con mayor incidencia donde los piroclastos están en contacto con las tobas, con el resultado de que se producen derrumbes que amenazan con dañar cualquier tipo de infraestructura de la zona, lo que incluye accesos, viviendas, puentes, líneas ferreas, muros, etc. (Fotos 5.5, 5.6 y 5.7).

Al Este de la comunidad Gallegos No. 2 y al Sur de la comunidad Quiñonez y La Chacra, se encuentran estratos de tobas de color gris en el lecho del río, que en base a la prueba de penetración, se puede decir que presentan un alto grado de consolidación; pero es insuficiente para detener el deterioro del cauce por efecto fluvial; incisado y ahondamiento del mismo, así como ensanchamiento de la sección y ampliación de las riberas del río. (Foto 5.8).

5.4 Propiedades índices de los suelos.

Son las que proporcionan las características generales de los suelos y al mismo tiempo permiten clasificarlos en base al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), o cualquier otro sistema de clasificación de suelos o sea, identificarlo de acuerdo al tamaño de sus partículas, al color, textura, plasticidad, olor, etc..

Dos propiedades características índices de los suelos muy importantes son :

a) Las propiedades de los granos de los suelos.

Son las que corresponden a las partículas individuales, de las que está compuesto el suelo, sin hacer referencia a la manera en que éstas están dispuestas en un depósito de suelo.

b) Las propiedades del suelo de agregado o de conjunto.

Dependen de la estructura y disposición de las partículas en la masa del suelo.

Las propiedades índices dan una mejor idea del tipo de suelo que se está analizando, y las áreas críticas en las que será necesario la realización de estudios más completos o detallados.

Estas propiedades por si solas no muestran el comportamiento de los suelos sujetos a carga; es decir, que por medio de estas propiedades, solo es posible determinar " qué tan bueno es un suelo con relación a otro ", pero no cuánto, por consiguiente, es necesario la determinación de las propiedades mecánicas.

Las propiedades índices más importantes son : Las gravimétricas y volumétricas, los límites de Atterberg y análisis granulométrico.

La clasificación de suelos estima cualitativamente las propiedades índices como pauta para establecer los problemas que se puedan originar por el uso de un suelo dado.

Para fijar las características de trabajo de los suelos es necesario:

a) Juzgar su origen geológico y proceso de formación.

De la observación detallada del lugar deberán obtenerse las condiciones estratigráficas y la posición del nivel freático.

b) Conocer sus relaciones volumétricas y gravimétricas.

Relación de vacíos (e), porosidad (n), contenido de agua ($w\%$), peso volumétrico (W_s), gravedad específica (S_s), grado de saturación (G_w) y compacidad relativa (C_r).

c) Determinar los tamaños de los granos por medio del

análisis granulométrico, que permite obtener la curva granulométrica a partir de los tamaños de los granos del suelo; suelo grueso (G) y suelo fino (s); entendiéndose como suelo fino los que pasan la malla 200.

d) Límites de Atterberg.

La plasticidad es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variaciones volumétricas apreciables y sin desmoronarse ni agrietarse.- Atterberg, demostró que la plasticidad puede describirse en términos de dos parámetros : El límite líquido (LL) y el índice plástico (IP) Tabla 5.1 (Anexo No. 1); numéricamente el índice plástico es igual a : $IP=LL-L_p$. Cuando el contenido natural de agua (w %) es aproximadamente igual al límite líquido (LL), se está en presencia de un suelo normalmente consolidado, y por tanto se prevén grandes asentamientos; pero cuando el contenido natural de agua (w %) es aproximadamente igual al límite plástico (L_p) es un suelo preconsolidado y por tanto se espera asentamientos pequeños.

No existe un sistema de clasificación de suelos establecido que tome en cuenta las cuatro características mencionadas, por lo que es necesario al hacer la clasificación del suelo, establecer independientemente su

origen, procesos de formación, relaciones gravimétricas y volumétricas y los límites de Atterberg.

El sistema de clasificación de suelos más utilizado en El Salvador es el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

5.5 Propiedades mecánicas de los suelos.

Toda edificación requiere conocer las propiedades mecánicas del suelo para diseñar en forma racional las fundaciones.

El grado de confiabilidad con que se determinen tales propiedades y su representatividad, se logra, si se toman muestras inalteradas de prueba y se dispone del conocimiento geológico de la zona. La geología nos dará una idea de los distintos suelos a encontrar así como de su posible comportamiento.

Los parámetros de las características mecánicas del suelo, se obtienen al ensayar las muestras inalteradas de las zonas críticas detectadas.

Las propiedades mecánicas obtenidas en el laboratorio son : Resistencia al esfuerzo cortante, permeabilidad y propiedades de deformabilidad de los suelos

(consolidación).

La resistencia al corte estará dada por la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna (ϕ) obtenidos por ensayos de compresión triaxial (o por corte directo) al elaborar probetas de suelo de muestras inalteradas extraídas en el campo y someterlas a diferentes presiones de confinamiento lateral.

La deformación del suelo (Δ), es medida en mm. a través del ensayo de consolidación.

La permeabilidad se mide por medio del coeficiente de permeabilidad (K) en cm/seg.

Será necesario considerar la prueba o las pruebas que mejor reproduzcan en el laboratorio las circunstancias o condiciones a que el suelo va estar sometido en la obra en cuestión, por lo que es de mucha ayuda el conocimiento del perfil estratigráfico del terreno, de sus propiedades índices y mecánicas así como de las condiciones de drenaje del mismo en el transcurso del tiempo.

5.6 Discusión sobre los suelos predominantes en la zona de estudio.

La condición de humedad natural (w %) es determinante en ingeniería de cimentaciones : En el caso de suelos

granulares se puede originar fenómenos de erosión, tubificación o licuefacción, ya sea por pérdida total de propiedades como la cohesión y fricción o debido a saturación por problemas de drenaje.

Los perfiles inclinados de los tramos superiores y la susceptibilidad a la erosión de las cenizas volcánicas blandas en estas zonas, ha contribuido a una grave erosión fluvial, principalmente mediante ampliación y profundización del lecho del río.

Las cenizas volcánicas de origen reciente que conforman el subsuelo del AMSS, se encuentran en proceso de consolidación. Esto influye en el hecho de que los suelos de la zona sean fácilmente erosionables, como resultado, el río Acelhuate amenaza dañar cualquier forma de infraestructura urbana en sus márgenes, especialmente : Vivienda, puentes, líneas ferreas, muros, etc., ya que por la expansión urbana de San Salvador se han incrementado las concentraciones de aguas de drenaje y crecidas más altas durante inundaciones, agravándose así el problema.

El tectonismo es fácilmente observable en la zona al detectar grietas que presenta la superficie de los taludes.- Estas grietas no penetran verticalmente hacia el interior de los mismos desde la superficie, sino más bien denotan inclinación de 45 a 60°; además, en ellas se observan la presencia de material orgánico o de compuestos de hierro los

cuales interrumpen la continuidad del estrato de suelo y es por ello que se produce la falla del talud sobre estas superficies. La actividad sísmica, contribuye al fracturamiento del terreno, lo que permite la infiltración del agua y sus consecuencias posteriores.

Las cenizas volcánicas, las arenas de pómez y las tobas de pómez, puede decirse que son materiales geológicos inestables al estar sometidos a factores externos como el agua, el tectonismo, etc.. Esta condición de inestabilidad se acentúa, porque no existe control de la escorrentía superficial, y además éstos materiales no presentan una adecuada cubierta vegetal, que pueda contribuir a disminuir el riesgo de movimientos de tierra, con resultados, en algunos casos desastrosos.

El primer signo de un deslizamiento inminente, es la aparición en la parte más alta de las laderas, de grietas perpendiculares a la dirección del movimiento que pueden saturarse, con el consecuente debilitamiento del terreno.

Los derrumbes de tierra se producen por la pérdida de resistencia del suelo principalmente durante terremotos que ablandan el terreno y fuertes lluvias que los saturan incrementando las presiones de poro y disminuyendo los esfuerzos efectivos. Específicamente un deslizamiento se puede definir como el movimiento de una o varias capas en dirección paralela a un plano de apoyo, de su parte más alta

hacia los puntos más bajos. En lo que respecta a derrumbes, estos se originan generalmente donde las pendientes llegan a la verticalidad o casi a ella, como es el caso de los taludes en las márgenes del río Acelhuate, sin importar el grado de cohesión que presenten los materiales geológicos.

La mayoría de suelos en la zona, presentan un comportamiento friccionante, y una cementación o cohesión aparente que determina el comportamiento de los taludes.- Según la clasificación del SUCS, se pueden agrupar en las categorías SM y ML, principalmente; sin embargo, también hay suelos arcillosos de baja plasticidad producto de la intemperización. Las densidades de estos suelos generalmente aumentan con la profundidad, sin embargo, también existen lentes de materiales sueltos en zonas donde ya se tienen altas densidades.

Las partículas vitreas de origen volcánico que componen estos suelos (arena de pómez), son angulosos con bordes puntiagudos y sin alteraciones o contaminación en su superficie, por otro tipo de suelo. Así, la cementación aparente que presenta parece deberse a la trabazón interna que existe entre las partículas individuales. La cohesión aparente es baja, el suelo se puede remover con facilidad, aún en la base o pie de los taludes más altos de la zona, lo que no es así en otros tipos de suelos que debido a las cargas que soportan, presentan mayor grado de consolidación.



La deformación en suelos areno-limoso (SM-ML) son de tipo instantáneo (Short Term Condition), ocurriendo durante la construcción o al cargar una estructura y se debe principalmente al reacomodo de las partículas durante la aplicación de las cargas o al peso propio de la estructura. Al aplicar grandes cargas al suelo por estar constituido por arena pumítica, éstas tienden a romperse, sufriendo un proceso de transformación (arena limosa).

Estos suelos no presentan características de expansión ni de consolidación, como sucede en suelos del tipo arcillosos y saturados.

En los afloramientos de tobas cementadas y de lavas andesíticas y basálticas en la zona, una característica muy importante de estos tipos de material, es la mayor resistencia a la erosión cuando están en contacto con las corrientes fluviales, así como también su mayor capacidad soportante a las cargas impuestas por las estructuras.

CAPITULO VI

ESTUDIO HIDROLOGICO

CAPITULO VI

ESTUDIO HIDROLOGICO.

6.1 Generalidades.

A través de los años las inundaciones han sido para la hidrología, motivo de estudio, principalmente porque estas ocasionan destrucción y pérdida de vidas humanas.

En el AMSS; este fenómeno se ha generado en varias de las quebradas de la ciudad y en mayor magnitud en el río Acelhuate.

En la época atemporalada, se incrementan las precipitaciones, este fenómeno puede manifestarse con mayor fuerza, dependiendo de la intensidad, duración y cantidad de lluvia.

Esta problemática es posible abordarla mediante un estudio hidrológico en el que se puede determinar para cada año, el nivel que alcanzará el agua de acuerdo a la capacidad de la sección, además establecer zonas de peligro por inundación y también proponer alternativas de solución que ayuden a proteger las zonas críticas.

Este capítulo, describe la subcuenca del río Acelhuate, las máximas crecidas anuales que se han producido

en años anteriores, el accionar del río, las precipitaciones e hidrogeología, donde posteriormente se hace el análisis hidráulico de un tramo del cauce considerando la ubicación de la comunidad más afectada por inundación:

6.2 Hidrología.

La subcuenca del río Acelhuate, está situada en el Valle Alto de San Salvador, a unos 40.0 kms. de la Costa del Pacífico, la cabecera de la subcuenca comprende la ciudad de San Salvador, situada en las laderas más bajas, al Oriente del Volcán de San Salvador, con una elevación de 600 a 900 metros sobre el nivel del mar.

El río Acelhuate corre hacia el Nor-Oriente de la ciudad, para unirse al río Lempa en la cabecera del embalse de la Presa Cerrón Grande (Lago Xuchitlán).

El desarrollo urbanístico del área Metropolitana de San Salvador, afecta cada vez más las características del drenaje natural de la subcuenca, del río Acelhuate, en particular, las crecidas máximas del río que amenaza directamente a las comunidades marginales que se encuentran ubicadas aguas abajo del mismo, en la zona de estudio (Foto 6.1).

Cabe mencionar que al costado Sur-Este del Barrio

Candelaria, se unen al río Acelhuate, la quebrada la Mascota y Arenal Monserrat; y al costado Sur-Oeste del Barrio La Vega se une el río Garrobó; estas corrientes al unirse incrementan las crecidas del río; generando así el riesgo de la zona.

6.3 Hidrogeología.

Según las características del suelo en la zona de estudio, se puede afirmar que la recarga del manto acuífero es muy baja, debido al grado de permeabilidad que no permite gran infiltración, influyendo en el incremento de la lámina de escorrentía superficial, aumentando el caudal y por consiguiente el volumen de materiales sólidos y sedimentos arrastrados.

En las márgenes del río Acelhuate al costado Poniente del Puente Fenadesal, se localiza un pozo con un nivel de agua a 4.5 metros de profundidad, y otro se encuentra en la comunidad Harrison Step, pero está fuera de uso.

Estos pozos se encuentran a 10.0 mts. distante de la corriente del río, lo que significa que es producto del drenaje del mismo, que sirve como fuente de recarga, a parte de la percolación profunda de las precipitaciones que es una de las fuentes más importantes de las recargas de aguas subterráneas. El aumento de la recarga en el área está

influenciada por la cubierta vegetal, topografía y naturaleza de los suelos, así como también, la intensidad y frecuencia de las precipitaciones en la subcuenca del río.

6.4 Precipitación.

Las precipitaciones, están en relación directa con la altitud del terreno, obteniéndose mayores cantidades de lluvia en las partes más elevadas.

El servicio Meteorológico Nacional lleva un registro de cantidades de lluvia, para disponer de datos de ocurrencia de las crecidas y así determinar por ejemplo : La frecuencia con que se produce la máxima intensidad de precipitación en un intervalo de tiempo.

Las estaciones que se encuentran asociadas de acuerdo a la red pluviográfica de El Salvador; en la subcuenca del río Acelhuate se muestran en Tabla 6.1.

Según datos obtenidos en el Servicio Meteorológico Nacional, la precipitación media anual de la subcuenca del río Acelhuate varía de 1700 mm. a 2000 mm., teniendo los valores más altos en el volcán de San Salvador.

El total de lluvia anual que cae en el período de Mayo a Octubre es de 1479.5 mm.; siendo el promedio del 90%, con

lapsos de transición de aproximadamente un mes entre las estaciones, cuando las lluvias ocurren con menos frecuencia.

Tabla 6.1 Estaciones Pluviográficas

Estación	Ubicación	Intensidad media anual en mm/min.	Equipo utilizado	Elevación m.s.n.m.
Observatorio	ISSS 10 de Mayo 13° 42.1' N 89° 12.3' W	0.80	Pluviógrafo	700
El Boquerón	Volcán de San Salvador 13° 44.1' N 89° 16.9' W	0.87	Pluviógrafo	1800
Santa Tecla	Santa Tecla 13° 41.2' N 89° 17.3' W	0.92	Pluviógrafo	965
San Salvador	Universidad de El Salvador 13° 43.3' N 89° 12.4' W	0.82	Pluviógrafo	710

Por consiguiente es importante diferenciar las clases de precipitación que existen, como son : Por convección, orográfica y ciclónica.

Precipitación por Convección.

Resulta de un tiempo cálido; que puede estar acompañado de relámpagos, truenos y vientos locales por su posición geográfica. El Salvador presenta este tipo de precipitación; al igual que todos los países del trópico.

Precipitación Orográfica.

Es común y ocurre donde el aire húmedo del Océano Pacífico es enfriado al moverse hacia arriba sobre tierras altas. Las tormentas orográficas no producen fuertes inundaciones en El Salvador.

Precipitación Ciclónica.

Son precipitaciones de larga duración, gran intensidad y de vientos fuertes; que generan una especie de remolino en la atmósfera girando en el sentido contrario a las agujas del reloj que succionan aire húmedo circundante y lo eleva masiva y violentamente. Este tipo de precipitación no se da en el El Salvador, éste, experimenta otro tipo de precipitación que está asociado con extensas depresiones que se desarrollan en el mar Caribe, aunque los efectos de los huracanes son sentidos en pocas ocasiones en el país.

6.5 Caudales.

Los caudales en el río Acelhuate varían de acuerdo al régimen de lluvia, lo que significa que al aumentar la precipitación en la Subcuenca, aumenta también la escorrentía y por consiguiente el caudal.

En la zona de estudio de acuerdo a la estación seca, se ha determinado un caudal de $0.8 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, que es un dato de registro de aforo de corriente por molinete ubicado en la Colonia Quiñonez en Enero de 1984; considerado como caudal mínimo.

También se ha registrado el mayor caudal en la estación " Desembocadura " a 100.0 mts. del puente sobre la Carretera Troncal del Norte, Departamento de Cuscatlán, que es de $800.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, por efectos del huracán " Fifi "; en Septiembre de 1974.

A la fecha, el Centro Nacional de Recursos Naturales no lleva un registro continuo de datos de caudales en el río Acelhuate, por lo que no se cuenta con información que pueda considerarse valiosa para la presente investigación, y por consiguiente se hará un análisis de la subcuenca del río, para determinar caudales de diseño en diferentes periodos, los cuales servirán de base para el diseño de las estructuras recomendadas.

6.6. Crecidas e Inundaciones.

Las crecidas de los ríos y quebradas del AMSS, ocurren eventualmente durante la época lluviosa, ocasionando éstas, las inundaciones y una serie de daños en construcciones localizadas en las márgenes del río Acelhuate.

En la zona de estudio y a lo largo del río, se han construido viviendas, como puede observarse en la Foto 6.2, aparentemente estas no corren ningún peligro, ya que los caudales que transportan las corrientes del río son bajos, en la estación seca, según datos de aforo, ubicado en la Colonia Quiñonez, el caudal es de $0.8 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, pero de acuerdo al análisis realizado pueden ocurrir crecidas de $497.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, $566.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, $654.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, cada 5, 10 y 25 años respectivamente, que lleguen a inundar estas viviendas.

En la subcuenca del río Acelhuate, las crecidas anuales son de picos múltiples, de corta duración y de crecimiento rápido; se hace muy difícil predecir exactamente las relaciones de frecuencia en las crecidas de la subcuenca; sin embargo, el mayor estimado es de $500.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, que corresponde al pico anual de crecidas que se ha logrado alcanzar.

El pico de la crecida del huracán " Fifi ", ocurrida en Septiembre de 1974, se estimó según estaciones

6.6 Crecidas e Inundaciones.

Las crecidas de los ríos y quebradas del AMSS, ocurren eventualmente durante la época lluviosa, ocasionando éstas, las inundaciones y una serie de daños en construcciones localizadas en las márgenes del río Acelhuate.

En la zona de estudio y a lo largo del río, se han construido viviendas, como puede observarse en la Foto 6.2, aparentemente estas no corren ningún peligro, ya que los caudales que transportan las corrientes del río son bajos en la estación seca, según datos de aforo, ubicado en la Colonia Quiñonez, el caudal es de $0.8 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, pero de acuerdo al análisis realizado pueden ocurrir crecidas de $497.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, $566.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, $654.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, cada 5, 10 y 25 años respectivamente, que lleguen a inundar estas viviendas.

En la subcuenca del río Acelhuate, las crecidas anuales son de picos múltiples, de corta duración y de crecimiento rápido; se hace muy difícil predecir exactamente las relaciones de frecuencia en las crecidas de la subcuenca; sin embargo, el mayor estimado es de $500.0 \text{ mts}^3/\text{seg.}$, que corresponde al pico anual de crecidas que se ha logrado alcanzar.

El pico de la crecida del huracán " Fifi ", ocurrida en Septiembre de 1974, se estimó según estaciones

pluviográficas que se lograron recuperar, de un caudal de 800.0 mts³/seg., (38% de incremento); fué la mayor crecida del río Acelhuate, debido a la precipitación pluvial que duró aproximadamente 72 horas; siendo en el AMSS, el Barrio Santa Anita, Candelaria y la Vega; uno de los lugares más afectados por el desborde del río Acelhuate. La Tabla 6.2 (Anexo No. 2) presenta un resumen de los eventos atemporales suscitados en El Salvador.

Por lo tanto, las crecidas siempre han sido un tema muy importante, especialmente para efectos de diseño, en obras de ingeniería como : Puentes, vertederos de presas, etc., ya que siempre es necesario poder estimar o predeterminar, el caudal máximo probable de una crecida en un punto determinado, con el objeto de preveer daños.

6.7 Hidráulica de la zona afectada.

En El Salvador, el Servicio Hidrológico del Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN), es el encargado de recolectar y procesar datos hidrométricos que son uno de los parámetros más importantes de la hidráulica. Justamente porque se ocupan de cuestiones tales como : Medida de tirantes, variación del nivel de aguas, de las secciones de escurrimiento, de las presiones, de la velocidades, de los caudales o descargar, etc..

Los registros limnigráficos obtenidos de los aparatos automáticos que miden los niveles del agua, en la subcuenca del Acelhuate proporcionan registros continuos y útiles con pocas discontinuidades, principalmente en las estaciones hidrométricas cercanas a la desembocadura del río, las medidas de caudal directo en cualquiera de las estaciones de aforo se limitan a la condición de caudales bajos, debido a que generalmente el caudal pico ocurre en horas nocturnas.

En el año de 1979, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, realizó un estudio para el proyecto de Ordenación de la subcuenca del río Acelhuate, llegándose a determinar que la precipitación total media anual para este periodo fué de 1770 mm., determinando que más o menos el 15% de la precipitación anual forma parte del Sistema Pluvial como escurrimiento superficial directo. Lo que significa que las secciones transversales críticas del río Acelhuate, son insuficientes ya que se pueden producir mayores tirantes hidráulicos generando rebalses de los cauces naturales que inundan la zona.

6.8 Análisis hidráulico.

Con el objeto de tomar medidas necesarias para evitar zonas de inundación y daños, es importante afectar un análisis hidráulico en el río Acelhuate, Apéndice "A", y

para ello se ha realizado una evaluación en base a parámetros propios y características del río que son representativas; se hizo un análisis de todas las comunidades que se encuentran a la orilla de los taludes que conforman las márgenes del mismo, la comunidad que presenta mayores problemas de inundación es la comunidad El Granjero No. 1.

Aplicando el método de las Isocronas se determinará el caudal máximo, posteriormente se analizarán las secciones transversales de dicha comunidad, las cuales servirán como parámetro para la elaboración de las curvas de descarga $AR^{2/3}$ vrs. H; éstas muestran el comportamiento del factor Geométrico ($AR^{2/3}$) en función del nivel del agua (H) alcanzado, todo esto permitirá tener mejor criterio y así determinar qué tipo de obra de protección será la más adecuada en la zona. En la Tabla 6.3 se presentan los resultados obtenidos en el análisis hidrológico e hidráulico de la subcuenca del río Acelhuate para un periodo de retorno de 25 años.

Tabla 6.3 Resultados del análisis hidrológico e hidráulico.

Sector El Granjero No. 1	
*Estación 0+200	Estación 0+220
Qt = 654 mts ³ /seg.	Qt = 654 mts ³ /seg.
Hmáx. = 3.35 mts.	Hmáx. = 3.62 mts.

En el Apéndice " A " se describe el método y el procedimiento de cálculo.

* La estación de inicio (0 + 00) se encuentra exactamente en la base Poniente del puente ferroviario ubicado en la comunidad Fenadesal Sur, localizandose las estaciones (0 + 200) y (0 + 220) hacia el Norte, en el recorrido del río Acelhuate. Este dato fué proporcionado por el CENREN; proyecto asignado a la institución a través de los italianos.

6.9 Accionar de las corrientes del río Acelhuate en la zona de estudio.

Desde el punto de vista geomorfológico, el río Acelhuate se encausa en una línea que define un tramo semirecto y otro sinuoso, por lo que se puede decir, que es del tipo meándrico. Además, a lo largo de su anchura ha

definido un campo del cauce pudiendo notarse el desarrollo del cambio de su curso a través de algunas áreas que han sido reestablecidas y han quedado como antiguos cauces (paleocauces).

Las secciones transversales en la zona de estudio son secciones variables que presentan cambios bruscos pero que no generan problemas de inundación, solamente se establecieron secciones críticas en la comunidad El Granjero No. 1, que pueden causar situaciones difíciles, cuando existan crecidas máximas.

Las corrientes del río se desarrollan con tendencia a la erosión y socavación de los laterales, causando serios daños a las obras de protección existentes; en situaciones atemporadas se incrementa el caudal y la velocidad, generando desastres en la zona de estudio.

La velocidad del río si no hay lluvia, es de 0.8 mts/seg. y el caudal es de 0.8 mts³/seg.; pero en épocas atemporadas el mayor caudal en el río ha sido de 800.0 mts³/seg. y la velocidad puede alcanzar los 50.0 mts/seg.

Los deslizamientos de taludes en la zona de estudio son un fenómeno que se da continuamente ya sea por saturación total o por saturación plena.

Por otra parte, se puede decir, que el río Acelhuate

por las características que presenta en toda su trayectoria, especialmente la zona de estudio, se encuentra en una etapa de madurez, ya que existe formación de meandros Fig. 3.1, (sección 3.2) donde interviene tanto la erosión como sedimentación de suelos. Lo que ocurre es que la corriente choca contra las orillas y luego es deflectada hacia la orilla opuesta, como lo que está sucediendo en las comunidades Gallegos No. 2, Harrison Step, San Martín, Florida, Las Margaritas, 10 de Octubre, Fenadesal Sur, Granjero No. 1, Granjero No. 2 y El Granjero; donde la erosión tiene lugar en la parte exterior de las curvas en que la turbulencia y la velocidad son mayores; los materiales arrastrados, generalmente son arenas y limos que son transportados aguas abajo y depositadas en zonas de menor turbulencia, ya sea en el centro del cauce o en el interior de la curva siguiente, como se observa en la comunidad El Granjero No. 1, depósitos de arenas y limos.

CAPITULO VII

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

CAPITULO VII.

METODOLOGIA DE ANALISIS.

7.1 Generalidades.

Con el fin de proporcionar criterios geológicos, geotécnicos e hidrológicos y buscar alternativas de solución a los problemas existentes de la zona de estudio, este capítulo define:

- 1- Características que permitan establecer parámetros para el desarrollo de una metodología guía en la selección de obras y zonas de protección que garanticen la seguridad de los asentamientos humanos existentes y futuros que se desarrollen en el sector de estudio.
- 2- Que sirva de base a todas aquellas instituciones gubernamentales y privadas en la implementación de dichas alternativas y de esa manera prevenir desastres futuros debidos a la inestabilidad de los taludes en las margenes de ríos y quebradas del AMSS con características similares a las del río Acelhuate.

Es necesario recalcar que para la clasificación de

zonas críticas como para el planteamiento de la metodología sugerida en la delimitación de zonas de protección y obras de salvaguarda, se realizaron inspecciones geotécnicas, ensayos de perforación, toma de muestras inalteradas y alteradas, pruebas de laboratorio para determinar las propiedades índices y mecánicas. También se realizaron pruebas de impermeabilización en taludes y pruebas de cementación, los resultados obtenidos así como la interpretación de los mismos reflejan las características y el comportamiento de los suelos existentes del sector del río Acelcuate los cuales sirven de base para el desarrollo de dicha metodología.

7.2 Problemática y Causas.

Las comunidades que se encuentran ubicadas en los márgenes del río Acelhuate, presentan problemas de carácter social, de vivienda, desarrollo físico, de espacios, etc., característico del sector. Es en la época invernal cuando el problema de habitabilidad se complica, por el accionar del agua en los suelos de la zona que son susceptibles a la erosión, principalmente (socavación, derrumbes, etc.) a lo que hay que agregar el accionar del hombre que se manifiesta en deterioro ecológico del sector.

En la problemática se pueden diferenciar tres aspectos importantes :

1. El rápido crecimiento habitacional en el área.
2. La falta de estudios con criterios técnicos adecuados para la delimitación de zonas de protección.
3. Los daños que ocasionan los problemas geotécnicos e hidrológicos, además de los problemas geológicos de la zona.

Esta problemática se puede resumir puntualmente en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 PROBLEMATICA Y CAUSAS QUE LA ORIGINAN

PROBLEMATICA	CAUSAS
- Socavación en taludes y estructuras foto 7.1, 7.2 y 7.3	La dinámica y la fuerza de las corrientes están socavando las bases de los taludes y estructuras.
- Erosión por descarga de aguas lluvias o servidas en el cuerpo y al pie del talud. Foto 7.4	Por la falta de una reglamentación que regule y controle las descargas de aguas servidas.
- Ubicación de viviendas en la corona del talud, propiciando así la falla (Foto 7.5).	Irrespeto a las zonas de protección establecida por los reglamentos vigentes.

CONTINUACION DE Tabla 7.1 PROBLEMATICA Y CAUSAS QUE LA ORIGINAN

PROBLEMATICA	CAUSAS
- Frecuentes deslizamientos de taludes. Foto 7.6	La actividad sísmica de la zona, la saturación de los suelos y socavación.
- La gran cantidad de muros volcados. Foto 7.7	Cimentación superficial, materiales no adecuados, carencia de drenaje transversal, etc.
- Inundaciones que ponen en peligro a los pobladores de la zona. Foto 7.8	Aumento en la escorrentia superficial, secciones que son insuficientes al paso de las corrientes del río.
- Cubierta vegetal escasa en la zona. Foto 7.9	Desforestación de la zona.
- Depósito de ripio y basura en el río. Foto 7.10	No existen normas que controlen este tipo de desperdicios.

También la zona de estudio como efecto del terremoto del 10 de Octubre de 1986, evidenció una gran cantidad de problemas, principalmente en las obras construidas en las orillas del cauce del río y la problemática de los taludes en las laderas. Estos se resumen de la siguiente manera, basados en el estudio de Enrique Melara (1987) :

Causas primarias :

1. Mal diseño estructural de muros.
2. Secciones continuas sin juntas de dilatación.
3. Mala calidad de los materiales de liga.
4. Carencia de drenajes transversales.
5. Carencia de material filtrante en la zona de contacto muro-suelo.

Otras causas que contribuyen a dichas fallas son :

1. Cimentación y proceso constructivo de los muros no adecuada.
2. El sismo.
3. Muros construidos cerca o sobre fallas geológicas.
4. Condiciones topográficas irregulares.

Estas causas son las principales en el fallamiento de las estructuras de la zona, y adicionalmente los problemas generados por la erosión y socavación por efectos del accionar de las corrientes del río Acelhuate.

Uno de los mayores problemas de la zona, son los deslizamientos frecuentes en el talud de la comunidad Francisco Morazán, donde su configuración está cambiando constantemente las fotos 7.11 (Enero 1991) y 7.12 (Agosto de 1991) muestran la evolución del talud en un período relativamente corto (7 meses).

Como resultado del deslizamiento ocurrido el 7 de

Septiembre de 1991, en el talud de dicha comunidad, se puede evidenciar agrietamientos que son peligro para las viviendas ubicadas en la corona del mismo. Debido al apareamiento de grietas en dirección paralela al borde del talud a una distancia de unos 2.5 mts.; la calle de acceso a la comunidad es inaccesible actualmente. La fig. 7.1 esquematiza las condiciones desfavorables en que actualmente se encuentra el talud y las viviendas aledañas y la fig. 7.2 presenta el perfil estratigráfico del mismo.

El Apéndice B presenta una metodología de carácter cualitativo para la clasificación de zonas críticas en el área de estudio, así como también en el Apéndice C se presentan recomendaciones generales referentes a obras de protección que se pudieran implementar en la zona.

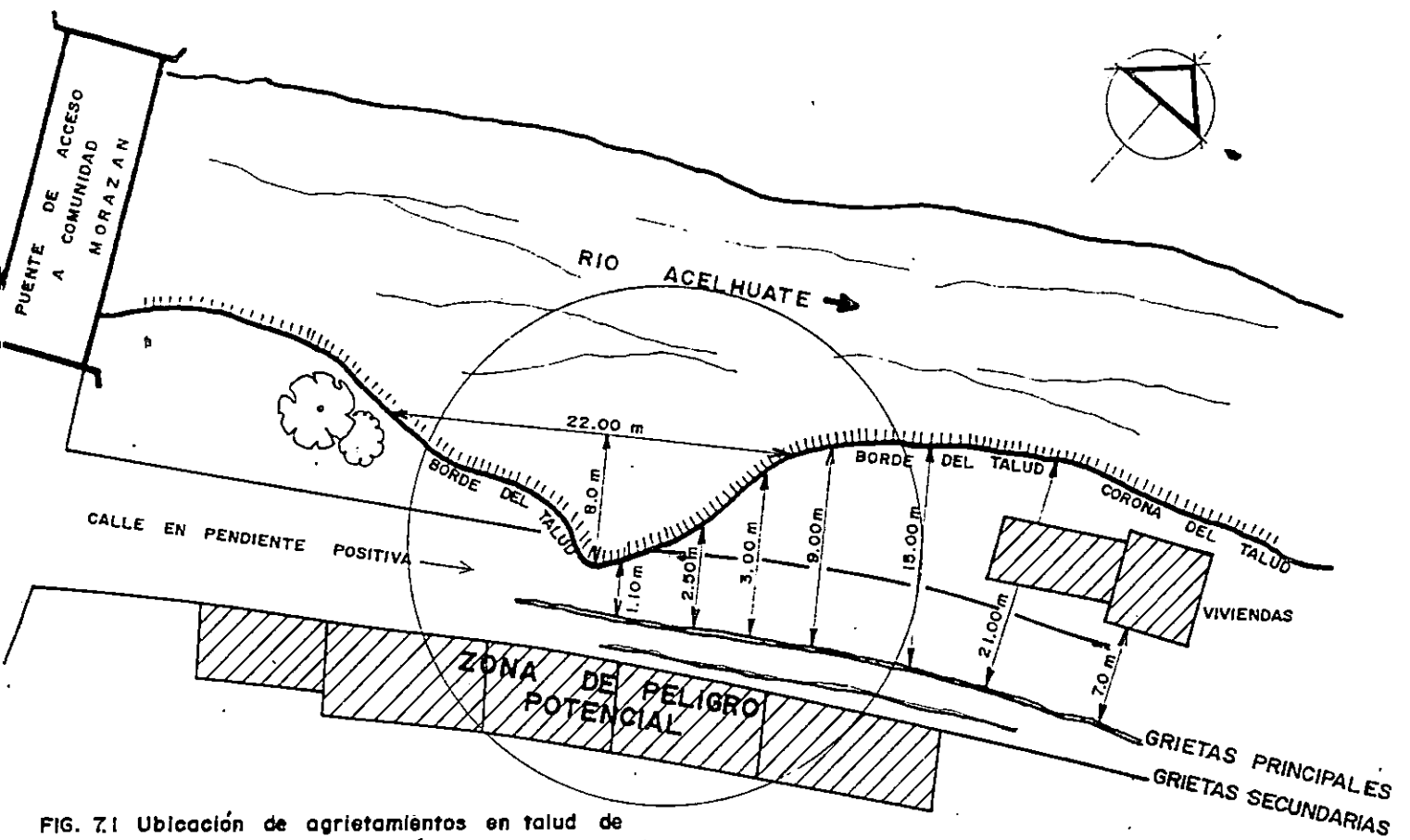
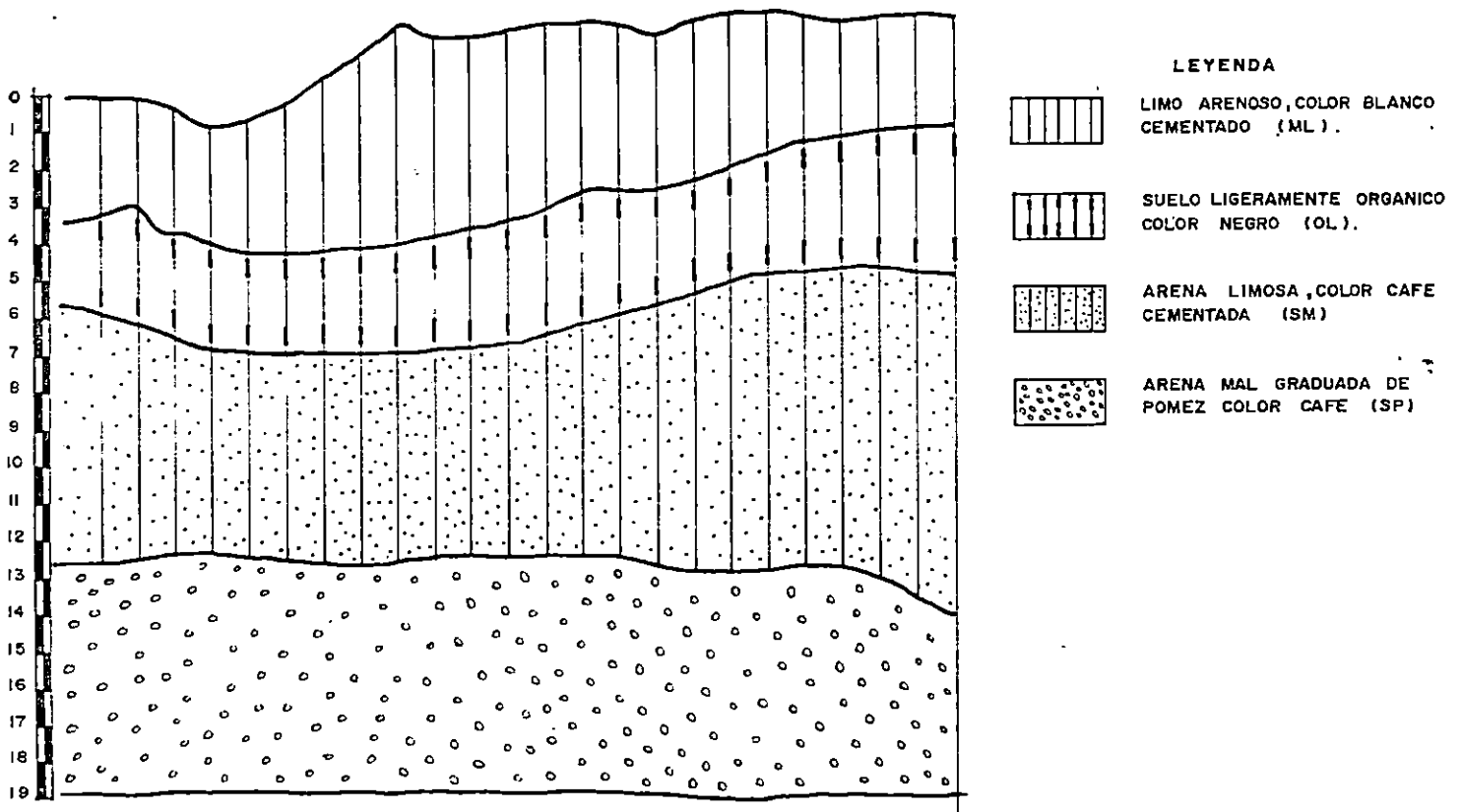


FIG. 7.1 Ubicación de agrietamientos en talud de Com. Francisco Morazán. (Vista en planta). Sin escala.



Esc. V. 1:200

FIG. 7.2 Tipificación del perfil estratigráfico del talud de la Comunidad Francisco Morazán en la zona de desliza-

7.3 Criterios de Análisis para Obras de Protección :

Muros y Taludes.

Los criterios que deberán tomarse en cuenta para el análisis de obras de protección son :

- * Criterios Hidrológicos.
- * Criterios Geológicos.
- * Criterios Geotécnicos.

Criterios Hidrológicos :

Los principales criterios hidrológicos que deben tomarse en cuenta para el análisis de obras de protección son los siguientes :

. Altura de las aguas máximas.

Son los niveles de agua alcanzados por las corrientes del río, ocasionados por una tormenta.

. Crecidas máximas.

Son los máximos caudales alcanzados eventualmente durante la época lluviosa.

. Nivel freático del sitio.

Es el nivel de las aguas subterráneas.

. Zona de inundación.

Es el sector donde la sección transversal es insuficiente para alojar los volúmenes de agua alcanzados en los máximos caudales.

. Escorrentia superficial.

Cantidad de agua que corre sobre la superficie del terreno.

Criterios Geológicos :

Estos deberán basarse en las visitas de campo que se efectúen en la zona de estudio y entre ellos se tienen :

. Identificación de roca o suelo existente en la zona.

El reconocimiento preliminar del sector es importante para determinar la naturaleza de los materiales.

. Morfología.

Es el estudio de las formas del relieve del suelo (topografía del terreno).

. La estratigrafía de los taludes.

Los diferentes estratos de suelos que presentan los taludes.

. Actividad sísmica local.

La zona de estudio está dentro del área de mayor riesgo sísmico.

. Geomorfología.

Resultado del desarrollo del relieve y accidente del terreno (erosión y socavación de los taludes).

Criterios Geotécnicos :

Basados principalmente en los siguientes aspectos :

- . Tipos de suelo existentes de la zona.
- . De acuerdo a las observaciones " insitu " del sector se determinarán los diferentes tipos de suelo.
- . Grietas o fisuras de los taludes.
- . Observar los taludes para determinar el grado de agrietamiento.
- . Sobrecarga en los taludes.
- . Es el sobrepeso debido a la construcción de viviendas o la existencia de árboles de gran peso, etc. en la corona del mismo.
- . Propiedades de los suelos.
- . Para determinar las características y el comportamiento del suelo en la zona.
- . Altura e inclinación de taludes.
- . Determinar alturas e inclinación de los taludes para garantizar las obras recomendadas en el sector de estudio.

7.4 Parámetros que Deben Considerarse para el Diseño de Obras de Protección (Muros y Taludes).

Entre los parámetros que deben considerarse para el diseño de obras de protección en las márgenes del río Acelhuate objeto de estudio, es importante considerar los siguientes :

- . Grado de socavación en taludes y estructuras.

El grado de socavación que experimentan los taludes en sus bases así como los muros de mampostería de la zona; causa principal de los derrumbes de suelo y estructuras de retención de tierra.

- . Altura de los taludes.

Debe considerarse la altura de los taludes de la zona la cual oscila entre 4.0 a 30.0 mts.; entre más alto sea un talud es más problemático y requerirá un análisis más completo.

- . Tipos de suelos existentes de la zona.

Dependiendo de los suelos presentes en el lugar así podrá detectarse su comportamiento en el sitio.

- . Profundidad del cauce.

Es necesario determinar la profundidad del cauce

y los cambios que este experimenta para poder dar recomendaciones apropiadas de acuerdo a los niveles máximos de las aguas en las crecidas.

. Nivel freático de la zona.

Para cualquier tipo de obra que se proyecte en el lugar es necesario conocer la profundidad del nivel freático para preveer cualquier problema que se pueda presentar al respecto. El nivel freático en la Comunidad El Granjero se encuentra a 2.5 mts. de profundidad.

. Inclinación de los taludes.

Conforme a la inclinación de los taludes podrá establecerse el tipo de obra más apropiada ya que a mayor inclinación el talud se considera de mayor peligrosidad. En la zona oscila entre 60° y 90°.

. Sismicidad de la zona.

La zona es de gran sismicidad de acuerdo a estudios realizados por la Misión Geológica Alemana, además se evidenciaron agrietamientos en taludes y laderas de la zona lo que está provocando el incremento de derrumbes por lo tanto es importante considerar este parámetro al momento de diseñar una obra en el sitio.

Aspectos económicos.

Es de mucha importancia considerar los aspectos económicos para el proyecto de cualquier obra en el lugar porque de esto depende en mayor grado su concretización o realización dadas las condiciones de pobreza de los residentes del sector. Se deberá siempre tener presente en seleccionar aquel proyecto que sea técnica y económicamente factible.

Con el fin de conocer en detalle las características y el comportamiento del suelo en la zona de estudio, se realizaron sondeos de penetración estándar, toma de muestras inalteradas, pruebas de cementación y pruebas de impermeabilización de taludes.

Por medio de los ensayos de penetración estándar se pudo determinar el comportamiento de la masa del suelo y tener una idea de la calidad del suelo existente, sus condiciones físicas así como la capacidad para soportar presiones la estratigrafía y las condiciones de humedad natural del mismo.

Se realizaron 3 sondeos en la corona de los taludes en los siguientes lugares : Condominios Atonal, Comunidad Francisco Morazán y Comunidad Harrison Step, Fig. 7.3 y Tabla 7.2 los cuales fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM 1586-84 con un muestreador de pared gruesa de 0.05 mts.

de diámetro exterior y 0.6 mts. de longitud. Los resultados obtenidos de las pruebas de penetración estándar se presentan en las Tablas 7.3, 7.4 y 7.5.

Es de hacer notar que los sondeos se realizaron en las condiciones más desfavorables como es la época invernal a efectos de reflejar claramente la situación real de los problemas de la zona. Es de mencionarse que en el lecho del río no fue posible realizar sondeo debido a la estación lluviosa, la cual dificultó realizar dicho trabajo, sin embargo se considera que para tener una confiabilidad en estos estudios siempre se requerirá realizar los correspondientes sondeos en el lecho y se deberá sugerir que estos se realicen en verano, a fin de evitar los problemas derivados de la estación lluviosa.

La toma de muestras inalterada es de gran utilidad para determinar las propiedades índices y mecánicas de los suelos de una manera más exacta, lo que conlleva a un diseño más real de las fundaciones para que estas funcionen adecuadamente.

Se extrajeron 3 muestras inalteradas en los siguientes lugares : Comunidad Francisco Morazán, Comunidad El Granjero y Comunidad Harrison Step. Fig. 7.3 por medio de excavación de pozos a cielo abierto. Para obtener los parámetros del suelo (cohesión (C) y ángulo de fricción interna (ϕ)) de los suelos predominantes en el área.

Se extrajeron muestras alteradas de los taludes en las distintas comunidades, sometiéndolas a saturación completa en un recipiente lleno de agua durante un periodo de 24 horas para medir el tiempo al cual se desintegraban completamente (grado de cementación).

Con el fin de determinar el grado de socavación que experimentan los taludes del área de interés, se procedió a efectuar pruebas de impermeabilización de taludes en Comunidad Francisco Morazán (zona altamente representativa de la problemática predominante en el área).

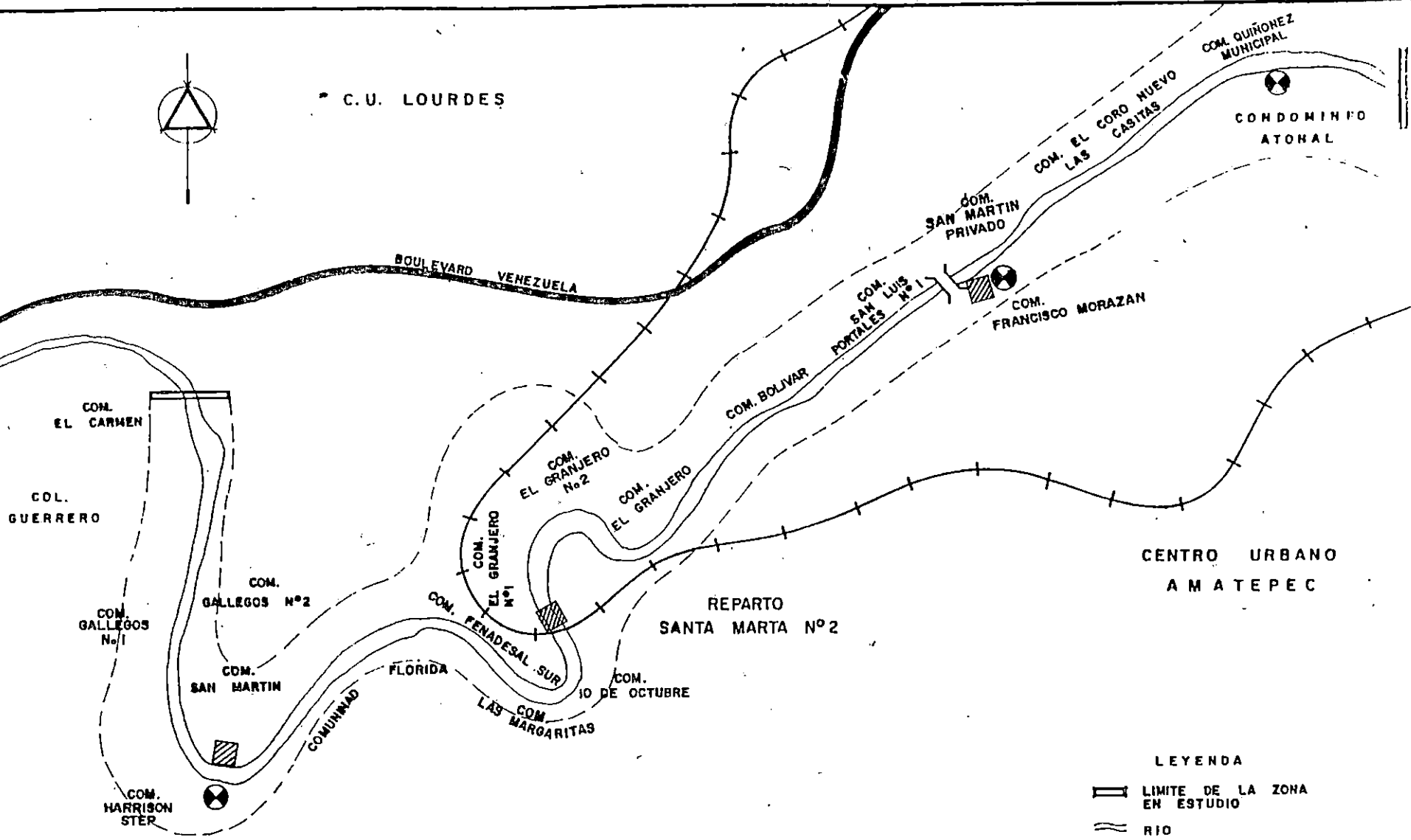
La primera prueba se realizó el 6 de Julio de 1991 y consistió en revestir el estrato inferior del talud (arena mal graduada) anclando una malla metálica de 0.9 mts. de ancho y 1.4 mts. de largo, recubierta con 3 cms. de espesor de mortero, utilizando pines de hierro de $\varnothing 1/4"$, Foto 7.13, a la vez a su lado derecho, se aplicó una lechada de cemento para ver el efecto que ambos tenían con respecto al comportamiento del suelo a la erosión de las corrientes.

Para conocer más a fondo el comportamiento de los taludes respecto a la socavación que son objeto por las corrientes del río, se procedió a anclar una segunda malla con iguales características a la anterior, con la diferencia que ésta estaría en contacto con las corrientes del río, Foto 7.14.

Al término de una hora las corrientes del río lavaron el mortero que se encontraba en contacto con las mismas.



C.U. LOURDES



LEYENDA









-  LIMITE DE LA ZONA EN ESTUDIO
-  RIO
-  CARRETERA PRINCIPAL
-  LINEA FERREA
-  DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO
-  PUENTE
-  SONDEOS
-  MUESTRAS INALTERADAS

FIG. 7.3 Mapa de la zona de estudio presentando la localización de los sondeos (SPT) y las muestras inalteradas.

Tabla 7.2 LOCALIZACION Y PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS.

Localización	Sondeo SPT	Profund. (mts.)	Observaciones
Condominios Atonal	S-1	4.3	La perforación se efectuó en la corona del talud, al costado poniente de dicha Colonia, específicamente muy próxima a los muros gavionados.
Comunidad Francisco Morazán	S-2	7.5	La perforación se efectuó en talud próximo al puente de acceso de dicha comunidad considerando uno de los que presentan mayor riesgo de deslizamiento.
Comunidad Harrison Step	S-3	8.0	Esta perforación se realizó en la corona del talud que presenta mayor riesgo de deslizamiento en dicha comunidad.

Tabla 7.3 Registro de perforación , Condominios Atonal .

CIG	M O P CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS DEPARTAMENTO MECANICA DE SUELOS REGISTRO DE PERFORACION	HOJA No <u>1</u> DE <u>1</u> SONDEO N° /
------------	--	--

PROYECTO: <u>ESTUDIO PROTECCION DE TALUDES</u>
UBICACION: <u>RIBERAS DEL RIO ACELUATE CONDOMINIOS ATONAL</u>
ELEVACION PERFORACION: _____ PROF. NIVEL FREATICO: _____
FECHA COMIENZO: <u>19 JUNIO 1991</u> FECHA DE TERMINACION: <u>19 JUNIO 1991</u>
PROFUNDIDAD TOTAL: <u>4.25 METROS</u> METODO PERFORACION: <u>NORMAL</u>
OPERADOR: <u>H. OSORIO</u>

MARTILLO: <u>63.5 KG.</u> CAIDA: <u>76.2 CM.</u>		TUBO MUESTRERO: <u>5.1 CM. D. E.</u>									
PROFUNDIDAD METROS	CLASIFICACION	ESTRATIGRAFIA	● CONTENIDO NATURAL DE AGUA (%) ○ LIMITE LIQUIDO (%) △ LIMITE PLASTICO (%) NUMERO DE GOLPES 10 20 30 40 50 60 70 80								ELEVACION EN METROS
			0.5	SM-OL, ARENA LIMSA GRIS CAPA 60% - ARENA PÓTEZ, 5% GRASA, TAM. MAX 1/2" SUB-ANG. SUAVE CON FINOS ORG.	DENS0						
1.0	SM-OL, ARENA LIMSA GRIS OSC. 70% ARENA PÓTEZ, 5% GRASA, TAM. MAX 1/2" SUB-ANG. SUAVE Y DURA, CON FINOS ORG.	"								"	
1.5	SM-OL, ARENA LIMSA GRIS CAPA 70% ARENA PÓTEZ, 5% GRASA, TAM. MAX 1" SUB-ANG. SUAVE Y DURA, CON FINOS ORGANICOS.	"								SUELO	
2.0	SM-OL, ARENA LIMSA GRIS OSC. 70% ARENA CON PÓTEZ, 5% GRASA, TAM. MAX 1" SUB-ANG. SUAVE Y DURA, CON FRAGMENTOS DE RIRIO, CON FINOS ORGANICOS.	"								SEMI DENS0	
2.5	SP, ARENA MAL GRADUADA CLOR GRIS OSCURO, 85% - ARENA CON PÓTEZ, 5% GRASA, TAM. MAX 1" SUB-ANGULAR Y ANGULAR SUAVE Y DURA, CON FINOS ORGANICOS.	"								DENS0	
3.0	"	"								Muy DENS0	
3.5	"	"								DENS0	
4.0	"	"								DENS0	
4.25	"	"								DENS0	

R. CAMPOS
DIBUJO

M. FLORES
REVIS0

JORGE TORRES
APROBO INGENIERO

Tabla 7.4 Registro de perforación, Comunidad Francisco Morazán

CIG	M O P CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS DEPARTAMENTO MECANICA DE SUELOS REGISTRO DE PERFORACION	HOJA No. 1 DE 1 SONDEO No. 2
-----	--	------------------------------------

PROYECTO: <u>ESTUDIO PROTECCION DE TALUDES</u>	
UBICACION: <u>BIBERAS DEL RIO ACELHUATE COMUNIDAD MORAZAN</u>	
ELEVACION PERFORACION: _____	PROF. NIVEL FREATICO: _____
FECHA COMIENZO: <u>19 JUNIO 1991</u>	FECHA DE TERMINACION: <u>19 JUNIO 1991</u>
PROFUNDIDAD TOTAL: <u>7.50 METROS</u>	METODO PERFORACION: <u>NORMAL</u>
OPERADOR: <u>L. NUÑEZ</u>	

MARTILLO: 63.5 KG. CAIDA: 76.0 CM.		TUBO MUESTRERO: 5.1 CM. D. E.									
PROFUNDIDAD METROS	CLASIFICACION	ESTRATIGRAFIA	● CONTENIDO NATURAL DE AGUA (%)								ELEVACION EN METROS
			○ LIMITE LIQUIDO (%)		△ LIMITE PLASTICO (%)		■ NUMERO DE GOLPES				
			10	20	30	40	50	60	70	80	
0.5	SM-OL, ARENA LIGERA COLOR GRIS CAFF, 60% ARENA CON PÓTEZ, 2% GRAYA TAM. MAX. #10 SUB-ANG. SUAVE, CON FINOS ORGANICOS.		•								SUELTO
1.0	" " " " " " " "		•								SEMI DENSO
1.5	" " " " " " " "		•								"
2.0	SM, ARENA LIGERA COLOR CAFF CLARO 60% ARENA CON PÓTEZ, 2% GRAYA TAM. MAX. #4 SUB-ANGULAR SUAVE CON FINOS LI-GRANDENTE ORGANICOS (ARE-NA POTITICA).		•								"
2.5	" " " " " " " "		•								DENSO
3.0	" " " " " " " "		•								"
3.5	" " " " " " " "		•								"
4.0	SM, ARENA LIGERA CAFF, 60% ARENA CON PÓTEZ, 2% GRAYA TAM. MAX. #4 SUB-ANG. SUAVE, CON FINOS LIG. ORG.		•								"
4.5	SM, ARENA LIGERA COLOR GRIS CAFF, 60% ARENA CON PÓTEZ, 2% GRAYA TAM. MAX. #4 SUB-ANG. SUAVE.		•								"
5.0	" " " " " " " "		•								"
5.5	" " " " " " " "		•								"
6.0	" " " " " " " "		•								"
6.5	" " " " " " " "		•								MDY DENSO
7.0	SM-OL, ARENA LIGERA COLOR GRIS, 70% ARENA CON PÓTEZ, 2% GRAYA TAM. MAX. #4 SUB-ANGULAR SUAVE, CON FINOS ORG.		•								DENSO
7.5	" " " " " " " "	•								"	

<u>R. CAMPOS</u> DIBUJO	<u>M. FLORES</u> REVISO	<u>JORGE TORRES</u> APROBO INGENIERO
----------------------------	----------------------------	---

Tabla 7.5 Registro de perforación, Comunidad Harrison Step

CIG	M O P CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS DEPARTAMENTO MECANICA DE SUELOS REGISTRO DE PERFORACION	HOJA No. <u>1</u> DE <u>1</u> SONDEO No. <u>3</u>
-----	--	---

PROYECTO: ESTUDIO PROTECCION DE TALUDES
 UBICACION: RIBERAS DEL RIO ACELHUATE COMUNIDAD HARRISON STEP
 ELEVACION PERFORACION: _____ PROF. NIVEL FREATICO: _____
 FECHA COMIENZO: 25 JUNIO 1991 FECHA DE TERMINACION: 25 JUNIO 1991
 PROFUNDIDAD TOTAL: 8.00 METROS METODO PERFORACION: NORMAL
 OPERADOR: R. CAMPOS

MARTILLO: <u>63.5 KG.</u> CAIDA: <u>76.0 CM.</u>		TUBO MUESTRERO: <u>5.1 CM. D. E.</u>									
PROFUNDIDAD METROS	CLASIFICACION	ESTRATIGRAFIA	● CONTENIDO NATURAL DE AGUA (%) ○ LIMITE LIQUIDO (%) △ LIMITE PLASTICO (%) ▮ NUMERO DE GOLPES 10 20 30 40 50 60 70 80								ELEVACION EN METROS
0.5	SM-OL. ARENA LIM. GRIS CAFE, 80% ARENA FINA, 8% GRAVA TAM. MAX. 1/2" SUB-ANG. SUAVE CON FINOS ORG. SM. ARENA LIMOSA COLOR CAFE CLARO, 80% ARENA CON POMEZ.	[Hatched pattern]	●								SUELTO
1.0	8% GRAVA TAM. MAX. 1" SUB-ANGULAR SUAVE.	[Hatched pattern]	●								SEMIDENSO
1.5	" "	[Hatched pattern]	●								"
2.0	" "	[Hatched pattern]	●								"
2.5	" "	[Hatched pattern]	●								"
3.0	" "	[Hatched pattern]	●								"
3.5	SM. ARENA LIMOSA COLOR CAFE CLARO, 50% ARENA CON POMEZ, 5% GRAVA TAM. MAX. 3/8" SUB-ANGULAR SUAVE.	[Hatched pattern]	●								"
4.0	" "	[Hatched pattern]	●								"
4.5	" "	[Hatched pattern]	●								"
5.0	ML. LIMO ARENOSO COLOR CAFE-CLARO, 35% ARENA CON POMEZ, (LAS MUESTRAS 11, 12 y 13 CON APARENTES FILTRACIONES DE AGUA).	[Hatched pattern]	●								DENSO
5.5	" "	[Hatched pattern]	●								"
6.0	" "	[Hatched pattern]	●								"
6.5	" "	[Hatched pattern]	●								"
7.0	" "	[Hatched pattern]	●								"
7.5	SM. ARENA LIMOSA COLOR CAFE CLARO, 50% ARENA CON POMEZ, 3% GRAVA TAM. MAX. 3/8" SUB-ANGULAR SUAVE.	[Hatched pattern]	●								MUY DENSO
8.0	" "	[Hatched pattern]	●								DENSO

R. CAMPOS
DIBUJO
M. FLORES
REVISO
JORGE TORRES
APROBO INGENIERO

7.5 Interpretación de Resultados.

Prueba de Penetración estándar.

Los resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT), efectuados en la zona, indican que se encuentran en la corona y cuerpo de los taludes, según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), básicamente los siguientes sistemas de capas :

1. Arena limosa gris-café con pomez (SM-OL) y finos orgánicos.
2. Arena mal graduada gris oscuro (SP).
3. Arena limosa color café claro con pomez (SM).
4. Limo arenoso color café claro con pomez (ML).

Para visualizar de una forma más real las condiciones del sub-suelo de la zona de estudio, se dibujó el perfil estratigráfico de cada una de las tres comunidades seleccionadas. Tablas 7.3, 7.4 y 7.5, a partir de las cuales se ha podido detectar lo siguiente :

a) Sondeo No. 1 : Condominios Atonal.

En el sector del sondeo S-1 (Condominios Atonal) se detectaron suelos en el primer estrato que se clasifican según el SUCS como arena limosa color gris-café con finos orgánicos (SM-OL), el espesor de este estrato es de aproximadamente 3.0 mts., el contenido de humedad (w %)

que presenta este primer estrato varia de 18% a 30%, por lo que se considera como saturado.

La resistencia a la penetración que presenta el depósito de arena limosa color gris varia de 8 a 46 golpes/pie, por lo que su condición de grado de compacidad promedio se considera media. La condición principal está dada por la presencia de un estrato de suelo débil localizado a 1.5 mts. de profundidad, cuyo espesor es de 0.5 mts., el diseño de las fundaciones deberá tomar en consideración esta condición.

Hasta la profundidad máxima explorada (4.3 mts.), se encontraron suelos que se clasifican como arena mal graduada color gris oscuro (SP), los contenidos de humedad (w %) varían de 12% a 13% considerado como parcialmente saturado. La resistencia a la penetración que presenta este último estrato varia en rangos de 15 a 80 golpes/pie, su densidad relativa se considera densa; observando un incremento en la resistencia a la penetración, conforme avanza la perforación. Tabla 7.3.

b) Sondeo No. 2 : Comunidad Francisco Morazán.

En el sector del sondeo S-2 (Comunidad Francisco Morazán) se detectaron suelos en el primer estrato que se clasifican según el SUCS como arena limosa color gris-café con finos inorgánicos (SM-OL), el espesor de este estrato es de aproximadamente 1.5 mts., el contenido de humedad

(w %) que presenta este primer estrato varía entre 13% a 16% considerado como parcialmente saturado. La resistencia a la penetración que presenta el depósito de arena limosa color gris varía de 5 a 16 golpes/pie, por lo que su condición de grado de compactación se considera suelto a medio.

Subyacente a este primer estrato se localiza un depósito de arena limosa color café claro (SM), el espesor de este estrato es de aproximadamente 5.0 mts., el contenido de humedad del depósito descrito varía de 11% a 15%, considerada como parcialmente saturada. La resistencia a la penetración varía de 23 a 54 golpes/pie, por lo que su densidad relativa se considera densa.

Hasta la profundidad máxima explorada (7.5 mts.), se encontraron suelos que se clasifican como arena limosa color gris (SM-OL), los contenidos de humedad (w %) varían de 15% a 21%, considerado como parcialmente saturado.

La resistencia a la penetración que presenta este último estrato varía de 41 a 42 golpes/pie, su densidad relativa se considera densa. Tabla 7.4.

c) Sondeo No. 3 : Comunidad Harrinson Step.

En el sector del sondeo S-3 (Comunidad Harrison Step) se detectaron suelos en el primer estrato que se clasifican según el SUCS como arena limosa color gris-café con finos

orgánicos (SM-OL), el espesor de este estrato es de aproximadamente de 3.0 mts., el contenido de humedad (w %) que presenta este primer estrato varían de 16% a 30%, considerado como saturado.

La resistencia a la penetración que presenta el depósito de arena limosa color gris-café varía de 5 a 17 golpes/pie, por lo que su consistencia es suelta a media.

Subyacente a este primer estrato se localiza un depósito de arena limosa color café claro (SM), el espesor de este estrato es de aproximadamente 1.5 mts., el contenido de humedad del depósito descrito varía de 20% a 22% considerado como parcialmente saturado. La resistencia a la penetración varía de 13 a 18 golpes/pie, por lo que su densidad relativa se considera media.

Subyacente a este segundo estrato se localiza un depósito de limo arenoso color café claro (ML), el espesor de este estrato es de aproximadamente 2.5 mts., el contenido de humedad del depósito descrito varía de 20% a 25%, considerado como parcialmente saturado. La resistencia a la penetración varía de 20 a 45 golpes/pie, por lo que su consistencia se considera densa. Tabla 7.5.

Hasta la profundidad máxima explorada (8.0 mts.) se encontraron suelos que se clasifican como arena limosa color café claro (SM), los contenidos de humedad (w %) varían

de 22% a 25% considerado como parcialmente saturado. La resistencia a la penetración que presenta este último estrato varía de 40 a 45 golpes/pie, por lo que su consistencia se considera densa; observando un incremento en la resistencia a la penetración, conforme avanza la perforación. Tabla 7.5.

Los contenidos de humedad natural (w %) que presenta el subsuelo, en los tres sondeos realizados, son variables, localizándose saturación en los estratos de arena limosa gris (SM). Tablas 7.3 y 7.5 a diferentes profundidades.

A profundidades mayores de 4.0 mts. el suelo posee un alto grado de compactación, por lo que presentó una resistencia a la penetración mayor de 35 golpes/pie.

Puede decirse de manera general, que en la corona de los taludes laterales del cauce en la zona, se encuentran suelos sueltos ($N \leq 10$ golpes/pie), que son más propensos a los deslizamientos; por lo tanto, para delimitar zonas de protección en las márgenes, es importante considerar esta condición.

En base a las perforaciones se verificó lo observado en las inspecciones de campo relativo a que predominan los suelos constituidos por cenizas volcánicas (arenas limosas cementadas color blanco (SM) y limos arenosos cementados color blanco (ML)).

En la Fig. 7.4 se muestra el perfil del talud de la zona, mostrando el comportamiento de los suelos, en el que se visualiza el tipo de suelo existente, el grado de saturación y la resistencia a la penetración.

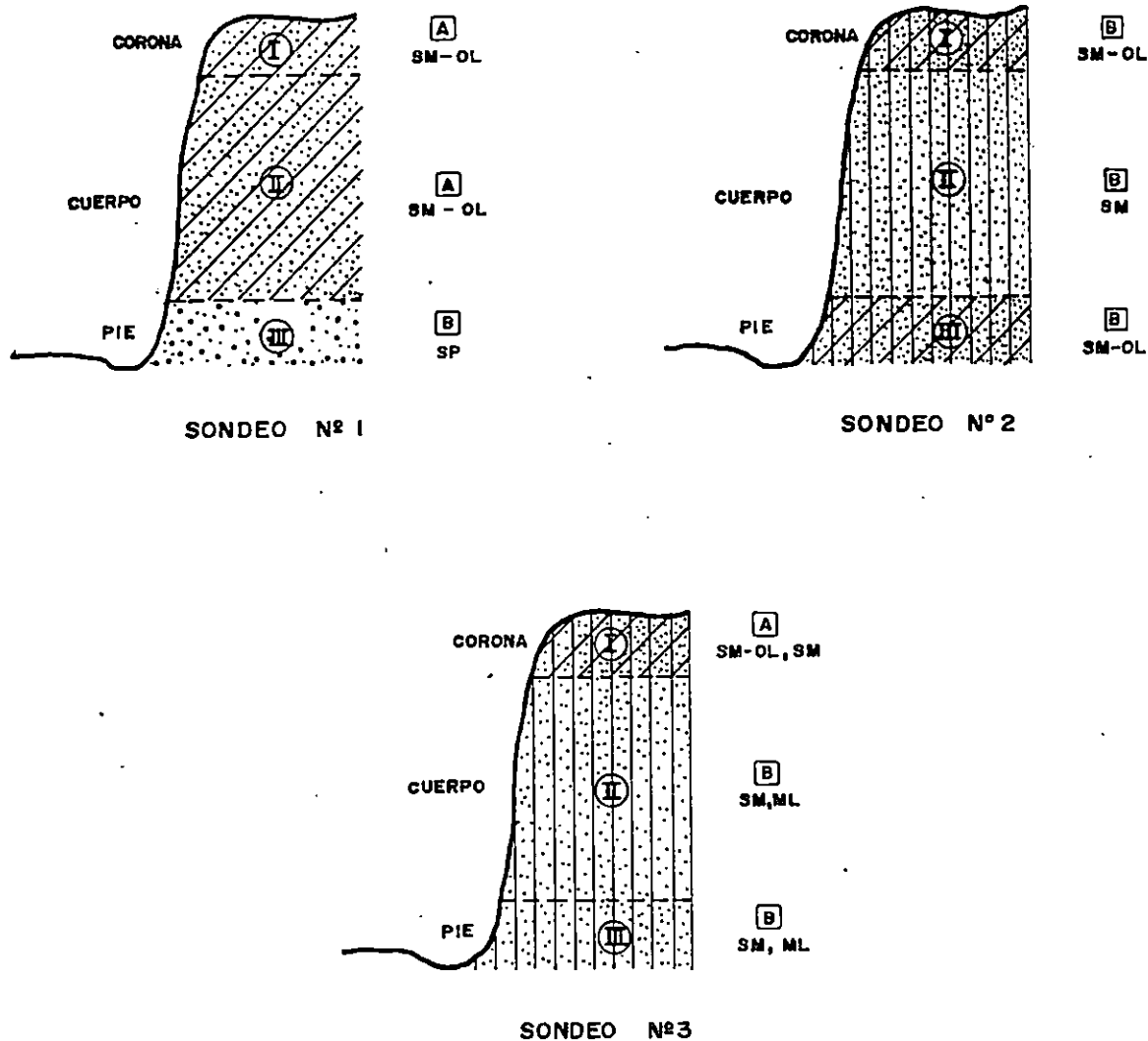


FIG. 7.4 Perfil de taludes de la zona de estudio mostrando el comportamiento de los suelos. (Basados en la SPT y observaciones de campo).

L E Y E N D A

Ⓘ	SUELO SUELTO		
Ⓜ	SUELO SEMIDENSO.		
ⓂⓂ	DENSO A MUJ DENSO		
A	SATURADO		
B	PARCIALMENTE SATURADO		
		ML	LIMO ARENOSO COLOR CAFE
		SP	ARENA LIMOSA COLOR GRIS-CAFE
		SM	ARENA LIMOSA COLOR CAFE
		SM-OL	ARENA LIMOSA COLOR GRIS-CAFE

(CLASIFICACION SEGUN EL S.U.C.S.)

Muestras Inalteradas

De las muestras inalteradas extraídas en el campo, se realizaron pruebas de laboratorio para determinar propiedades índices y mecánicas de los mismos, los resultados se presentan en la Tabla 7.6, los cuales indican lo siguiente :

Contenido de humedad natural

Los contenidos de humedad natural ($w\%$) oscilan en rangos del 15-21% por lo que el suelo de la zona podría considerarse parcialmente saturado, lo cual es concordante con los ensayos de penetración efectuados, dicha condición no es problemática en la zona; la presencia de un estrato saturado a diferentes profundidades es debido a la inadecuada descarga de aguas servidas en los taludes.

Gravedad específica

Los valores de gravedad específica (S_s) para los diferentes suelos analizados oscilan de 2.02 a 2.65, Tabla 7.6, que de acuerdo a investigaciones efectuadas en similares tipos de suelos (con presencia de pómez), los valores obtenidos son concordante con las características de los mismos. En la Comunidad Francisco Morazán, $S_s = 2.02$, por lo que puede considerarse como un material liviano, con alto contenido de pómez clasificados según el SUCS como una arcilla limosa dura (CL). En la Comunidad Harrison Step ($S_s = 2.25$) considerándose como un material consolidado, con presencia de finos, clasificados según el SUCS como un

limo arcilloso, (ML), duro.

Ley de resistencia

De las pruebas triaxiales se obtuvieron dos valores de cohesión (c) y ángulo de fricción ϕ . Tabla 7.6.

En la Comunidad El Granjero, $c = 0.85 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 22^\circ$; Fig. 7.5, en la Comunidad Harrison Step, $c = 0.38 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 27^\circ$, Fig. 7.6 con dichos valores puede determinarse la capacidad de carga de las fundaciones de los muros, tomando en consideración esta condición, y así revisar la estabilidad de los taludes.

A mayor valor de c , ϕ es menor y viceversa, esto indica que cuando C es mayor la resistencia del suelo depende en mayor grado de la cohesión que del ángulo de fricción interna (ϕ); y cuando ϕ es mayor, la resistencia depende más del ángulo de fricción interna que de la cohesión.

En la Comunidad Francisco Morazán, no se pudo realizar pruebas triaxiales, por lo dificultoso que resultó labrar las probetas de prueba de suelo, en muestras de arena de pómez extraídas en el cuerpo del talud.

Sin embargo, los suelos de la zona : cenizas volcánicas, limos arenosos (ML) y arenas de pómez (SP) presentan una cohesión aparente. (estos suelos por tener propiedades cementantes, su cohesión puede no ser

exactamente el reflejo de los mismos, aunque el resultado de la prueba triaxial refleje el valor de c); pero al encontrarse en estado saturado, fácilmente la cohesión aparente se pierde, originando desprendimiento de suelo en las laderas.

FIG. N° 7.5

LEY DE RESISTENCIA DEL SUELO
PRUEBA NO CONSOLIDADA NO DRENADA Q_u

ENSAYO N°	σ_3 Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ Kg/cm ²	σ_1 Kg/cm ²	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ Kg/cm ²	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ Kg/cm ²
1	1.0	3.76	4.76	2.88	1.88
2	2.0	4.85	6.85	4.42	2.42
3	3.0	6.27	9.27	6.14	3.13

FECHA : JULIO / 1991

LUGAR : COMUNIDAD EL GRANJERO

PROFUNDIDAD : 1.00 m

MATERIAL : LIMO MUY FINO CEMENTADO
CON ARENA

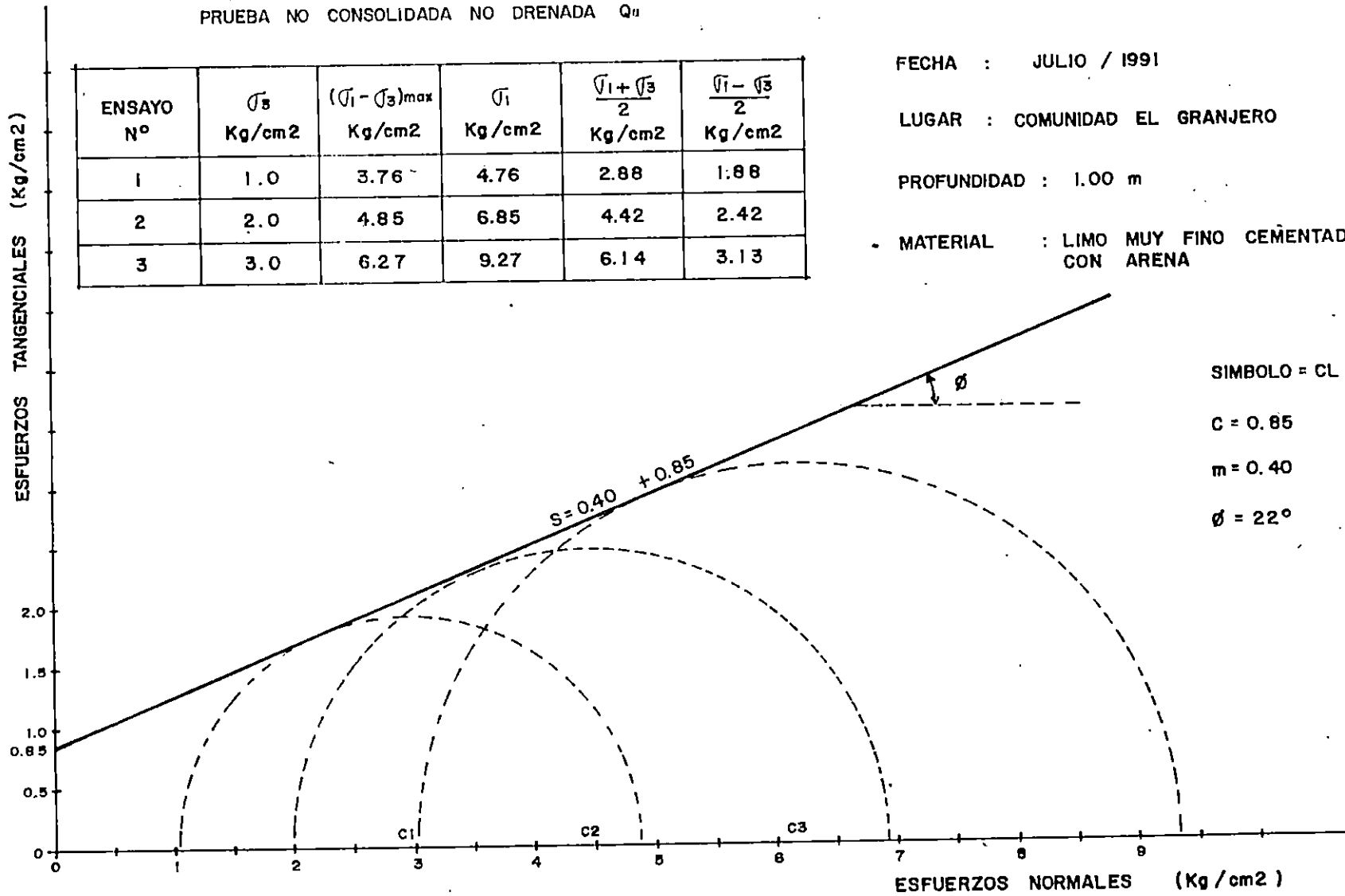


FIG. N° 7.6

LEY DE RESISTENCIA DEL SUELO
PRUEBA NO CONSOLIDADA NO DRENADA Q_u

FECHA : JULIO / 1991

LUGAR : COMUNIDAD HARRISON STEP

PROFUNDIDAD : 0.50 m

MATERIAL : LIMO ARCILLOSO

ENSAYO N°	σ_3 Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ Kg/cm ²	σ_1 Kg/cm ²	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ Kg/cm ²	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ Kg/cm ²
1	1.0	2.86	3.86	2.43	1.43
2	2.0	4.34	6.34	4.20	2.20
3	3.0	6.06	9.06	6.03	3.03

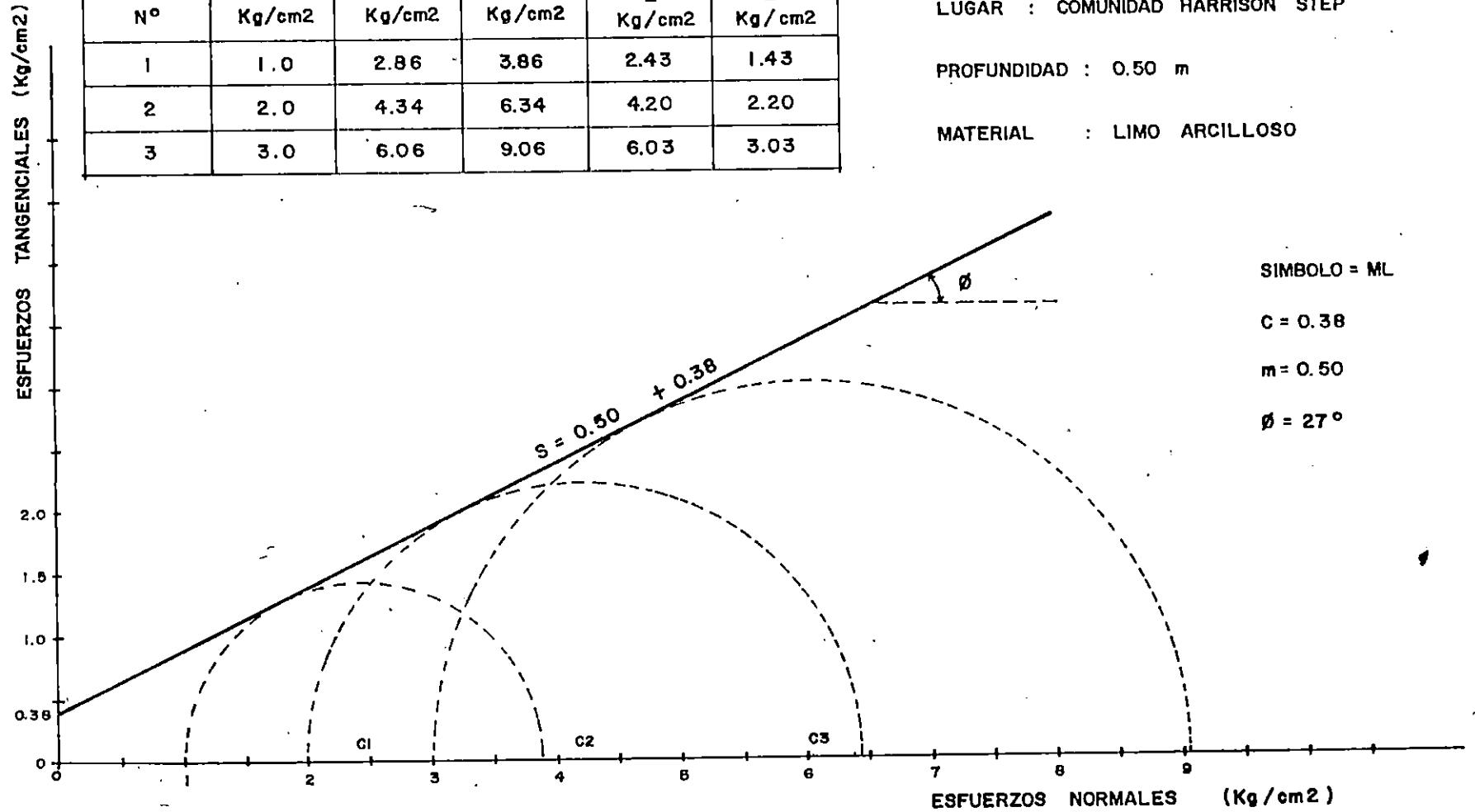


TABLA 7.6 RESULTADOS DE LABORATORIO

PRUEBAS DE LABORATORIO	L U G A R		
	Comunidad Morazan Prof. 55cm	Comunidad El Granj. Prof. 100cm	Comunidad Harrison Prof. 50cm
LIMITE LIQUIDO (LL)	---	31.10	22.00
LIMITE PLASTICO (L _P)	---	21.74	18.70
LIMITE DE CONTRACCION (L _c)	---	18.13	17.54
CONTENIDO DE HUMEDAD (w), %	15.2	22.50	21.70
GRAVEDAD ESPECIFICA (S _s)	2.02	2.61	2.25
RELACION DE VACIOS (e)	0.44	0.89	0.60
GRADO DE SATURACION (G _w), %	69.3	65.6	80.80
PESO VOLUMET. SECO (d), GR/CM ³	1.40	1.38	1.40
PESO VOLUMET. HUMEDO (h), GR/CM ³	1.61	1.69	1.70
POROSIDAD (n)%	30.7	47.2	37.70
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C _u)	---	---	---
COEFICIENTE DE CURVATURA (C _c)	1.87	0.89	1.00
COHESION (C) KG/CM ²	---	0.85	0.38
ANGULO DE FRICCION INTERNA (ϕ)	---	22°	27°
TIPO DE SUELO PREDOMINANTE	SM	CL	ML

En general, las propiedades índices de los suelos obtenidos del laboratorio, da una idea de las características de los suelos de la zona en estudio y permite clasificar el suelo, de acuerdo al tamaño de sus partículas, al color, textura, etc.; las propiedades mecánicas obtenidas dan una idea general del comportamiento del suelo, bajo determinadas circunstancias.

De acuerdo a los resultados de los sondeos realizados (SPT) y la toma de muestras inalteradas, los parámetros obtenidos dan idea preliminar de carácter general acerca del comportamiento de los suelos del lugar bajo determinadas circunstancias.

Prueba de Cementación.

De la prueba de cementación realizada a los mismos suelos de la zona, se obtienen los siguientes resultados. (Tabla 7.7).

Tabla 7.7 Grado de cementación de los suelos predominantes de la zona.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CEMENTACION		
Tipo de Material	Tiempo de Desintegración (horas)	Grado de Cementación
Tobas	No se Desintegró	Muy Alto
Arenas Limosas	12 - 24	Medio
Limos Arenosos	6 - 12	Bajo
Suelos Organicos	< 6	Muy Bajo

Esto indica que los suelos más resistentes de la zona son las Tobas, ya que no se logró su desintegración en el periodo de prueba realizado, al mismo tiempo los suelos con más baja cementación son los limos-arenosos y los suelos orgánicos, los que se desintegraron en periodos relativamente cortos al encontrarse sometidos a saturación completa.

De lo anterior se puede decir que en las márgenes del río Acelhuate, aquellas zonas con suelos resistentes (Tobas) no representan mayores tipos de problemas en lo referente a aspectos geológicos, geotécnicos e hidrológicos, aunque se encuentren en estado saturado; sin embargo, los suelos Areno-limosos, Limo-arenoso y Orgánicos, son suelos

problemáticos cuando se encuentran sometidos a saturación (completa) ya que fácilmente pierden la cohesión aparente, lo cual es causa por la que se producen los derrumbes del suelo en los taludes o laderas del río.

Impermeabilización de Taludes

Los resultados obtenidos de las pruebas de impermeabilización de taludes en la Comunidad Francisco Morazán, utilizando malla revestida con mortero fueron los siguientes:

En la primera prueba, la parte protegida, mantuvo la conformación del talud; la zona de prueba, no está permanentemente sometida a las corrientes del río, por lo que el contacto con las mismas solo se realiza cuando hay crecidas. Foto 7.13

En la segunda prueba la parte protegida está en contacto con las corrientes del río, Foto 7.14, en dicha prueba se evidenció el alto grado de socavación por las corrientes, produciéndose un incizado de aproximadamente 0.5 mts. hacia el interior del talud por debajo de la malla revestida en un periodo de un mes, Foto 7.15. Se comprobó que la malla revestida es resistente a la erosión, pero para que funcione adecuadamente es necesario realizar obras de protección con una cimentación apropiada para que soporten el incizado de las corrientes tanto en el lecho del río como en los taludes laterales en donde se encuentran suelos

susceptibles a la erosión.

7.6 Propuesta Metodológica para Evaluar las Obras de Protección en el Area de Estudio: Muros y Taludes.

Muy pocos estudios se han realizado en El Salvador (tanto el gobierno como los diferentes sectores) para determinar zonas de protección en lugares peligrosos.

Cabe hacer mención, que para la delimitación de zonas de protección en Guatemala, se tomó como base el comportamiento de las cenizas volcánicas en las laderas y barrancas de ese país, de acuerdo al estudio de Federico Koose (1991). Koose, obtuvo que la distancia máxima segura al borde del talud, es igual a la altura del mismo ($d_s = h$). Este resultado, actualmente es utilizado en Guatemala por el Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (F.H.A.) para delimitar áreas críticas.

Su metodología puede servir en un principio como marco de referencia para San Salvador u otros lugares, debido a la similitud existente entre los suelos por él investigados, (las cenizas volcánicas) en el AMSS y alrededores, así como también en la geología y morfología de la región. Para este fin, se propone un criterio desde el punto de vista morfológico, geológico, geotécnico e hidrológico, para construir y habitar en zonas inadecuadas y su regulación.

La metodología que se propone es una guía para la delimitación de zonas de protección en lugares de alto riesgo para dar seguridad a sus habitantes contra fenómenos naturales tales como derrumbes, crecidas, etc. Fig. 7.7

1. Recopilación de información preliminar para la evaluación de deslizamientos de taludes y obras de protección. incluirá métodos de construcción, mapas geológicos y de regionalización sísmica local, mapa de uso de suelo, estudios hidrogeológicos, proyectos de desarrollo urbano y toda la información que a criterio del ingeniero sea necesaria disponer.
2. Aplicar criterios para la evaluación de los posibles deslizamientos de taludes desde el punto de vista geológico-morfológico, geotécnico e hidrológico, basados en todos los parámetros indicativos de las condiciones en la zona objeto de estudio donde se recomienda considerar los siguientes aspectos:
 - * Grado de socavación en taludes (la cual depende del tipo de suelo y de la dinámica del río).
 - * Socavación en estructuras (muros, gaviones, guarda niveles existentes).
 - * Altura del talud (evaluar alturas críticas)
 - * Inclinación del talud.
 - * Deslizamientos tipo y frecuencia en la zona.
 - * Inundaciones.

- * Ubicación de viviendas.
- * Descarga de aguas servidas.
- * Depósitos de escombros.
- * Tectonismo.
- * Sismicidad de la zona
- * Cubierta vegetal.
- * Tipos de suelos.
- * Evidencia de grietas (primarias y secundarias)
en la corona del talud.

Dependiendo de la localización y de la inspección del sitio estos parámetros deberán considerarse en cada caso.

3. Efectuar una evaluación y clasificación de las comunidades y las zonas de acuerdo al riesgo que presenta, la cual puede dividirse en cuatro categorías así:

- I- Zonas de bajo riesgo.
- II Zonas de riesgo moderado.
- III Zonas de alto riesgo.
- IV Zonas críticas.

Elaborándose al final un mapa de riesgo de la zona, como el presentado en el Apéndice " B ".

4. Efectuar trabajos de campo geotécnicos, basados en

la inspección; realizar muestras planificadas específicamente, localizando perforaciones para la prueba SPT o equipo rotativo en el sector en estudio, de la misma manera deberán tomarse muestras inalteradas de requerirse, en diferentes puntos y alturas de taludes.

5. Evaluar aspectos hidrológicos, determinando el nivel de aguas máximas, basadas en estudios hidrológicos del lugar.
6. Determinar capacidad de carga del suelo, su resistencia, cohesión, propiedades gravimétricas y volumétricas, límites de consistencia (evaluación de posibles asentamientos), propiedades mecánicas.
7. Determinar cota de fundación de obras de protección, basados en los resultados del estudio geotécnico tomando en consideración los efectos erosivos que son objeto los taludes.
8. Recomendar tipo de obra a realizar (muros, gaviones, etc.) y sus dimensiones, en los que se deberán tomar en cuenta todos los criterios descritos anteriormente.
9. Aplicar una metodología para delimitar distancias de protección donde se deben tomar criterios para la

evaluación de la estabilidad de taludes y por ende la delimitación de zonas de protección, utilizando métodos que se apliquen a los suelos de El Salvador como el desarrollado por Federico Koose en Guatemala.

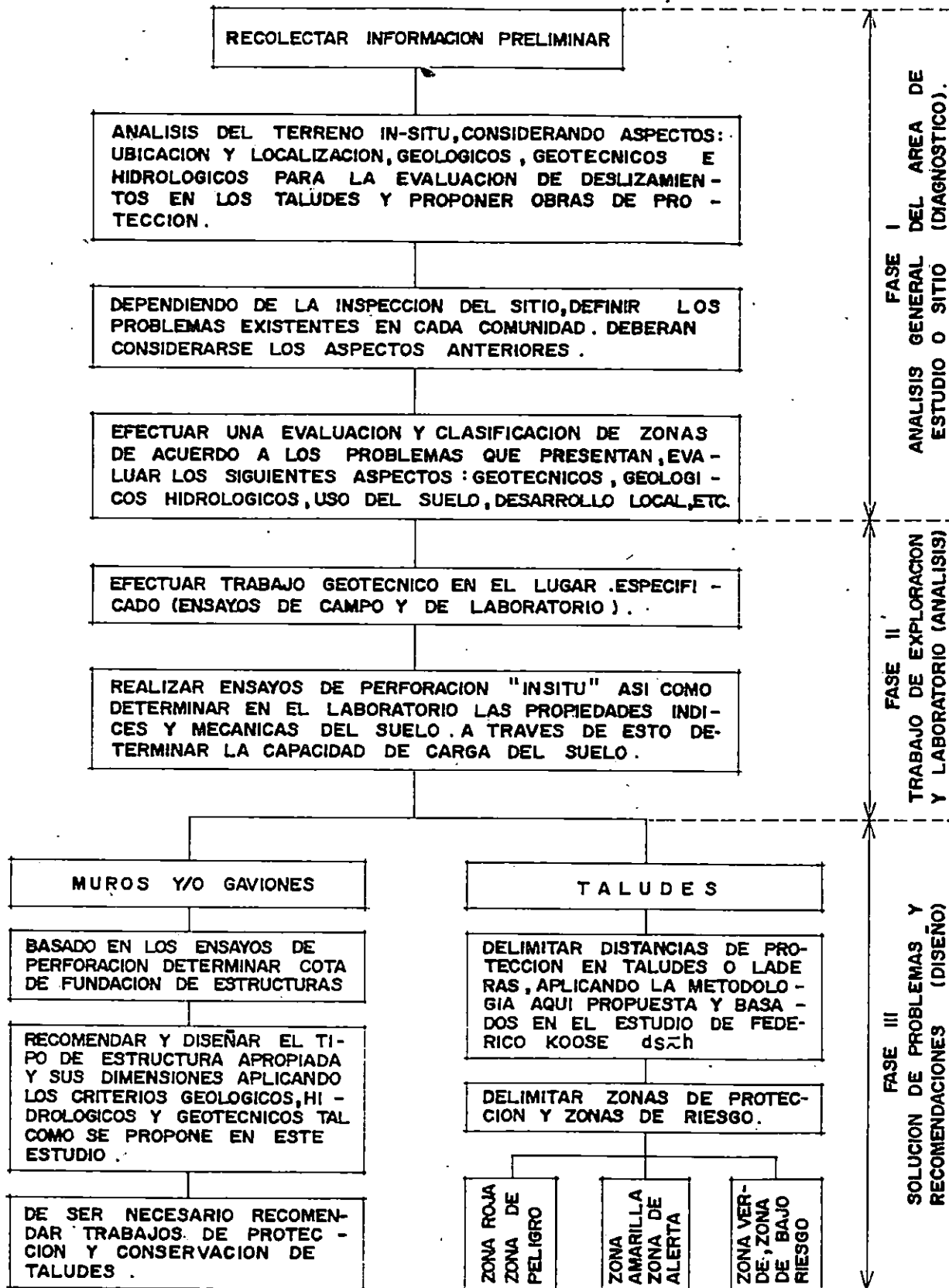
10. Con los resultados obtenidos delimitar zonas de protección, estableciendo tres sectores :

ZONA ROJA : Deslizamientos frecuentes y (zona de peligro) agrietamientos, zona que no ofrece seguridad.

ZONA AMARILLA : Zona de peligrosidad relativa (zona de alerta) mente, cercana a zonas de deslizamientos o grietas (zona roja) no se recomienda nuevos asentamientos en esta zona.

ZONA VERDE : Es la que es segura para la (zona de bajo riesgo) construcción de viviendas y la probabilidad de un deslizamiento es más difícil (zona de seguridad).

FIG. 7.7 Metodología sugerida para la evaluación de obras y zonas de protección en el área de estudio.



CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VIII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Consideraciones.

En base a los objetivos del presente estudio el cual pretende definir parámetros y criterios hidrológicos, geológicos y geotécnicos para el diseño de obras de protección de taludes en las márgenes del río Acelhuate, tendientes al mejoramiento y recuperación ecológica del área y a dar seguridad a los pobladores de la zona, se pueden anotar las siguientes consideraciones :

- . Los estudios existentes son limitados, apesar de la importancia que representa, la solución a la problemática del río Acelhuate, basada en la geología y problemas hidrológicos y geotécnicos de la zona.
- . Debido al deterioro ecológico en la zona, el cauce natural del río está cambiando frecuentemente. La erosión en las laderas del río, produce los deslizamientos de tierra que repercuten en los pobladores de la zona.

8.2 Conclusiones.

En base a lo anterior se concluye que :

1. La expansión del AMSS desmesurada y sin control, está deteriorando el sistema ecológico y ocasiona graves consecuencias al medio ambiente.
2. La mayoría de asentamientos populares del AMSS se ubican en lugares peligrosos (orillas de ríos, quebradas, pie de taludes, bordes de barrancos). Que por su naturaleza no ofrecen seguridad para la vida de los pobladores, como el caso del sector de estudio, a orillas del río Acelhuate.
3. La erosión y socavación es uno de los grandes problemas de la zona de estudio, y se denota en la profundización y ampliación del cauce del río y base de taludes, así mismo los deslizamientos de tierra en los taludes naturales, desplome de viviendas, colapso de muros y puentes.
4. La cantidad de muros volcados en el lecho del río, son resultados del proceso erosivo acelerado en sus márgenes; y el inadecuado diseños de las fundaciones.
5. Los efectos sísmicos de la zona son causas que provocan : Agrietamientos de las estructuras

existentes (muros, taludes), desprendimientos de suelos, colapso de corona de taludes por sobrepeso, filtración de agua (pluviales o servidas).

6. En la zona de estudio predominan las cenizas volcánicas poco consolidadas, muy vulnerables a la erosión y socavación, principalmente cuando están desprovistas de una cubierta vegetal adecuada.

Otros materiales en la zona son : Tobas alteradas (gris, café y blanco), arenas de pómez, lavas andesíticas y basálticas, material aluvial y fluvial, sedimentos meteorizados: constituyendo estos materiales los suelos del lugar.

7. El estudio hidrológico en la zona de interés, para un periodo de 25 años, determinó tirantes máximos de 3.35 mts. y 3.62 mts., en el sector de la comunidad El Granjero No. 1 en donde las secciones transversales son insuficientes para dar paso a grandes caudales por crecidas del río Acelhuate en época lluviosa. Por tanto, para delimitar zonas de protección y construcción de obras de salvaguarda, se requiere la estimación del nivel de aguas máximas para máximas crecidas por medio del estudio hidrológico como es el caso de la sección analizada.

8. El río Acelhuate se ha convertido en botadero de basura y desechos del AMSS por la irresponsable

deposición de escombros en las márgenes del río, que está provocando la desviación de su curso, lo que afecta nuevas áreas; consecuencia de la inadecuada legislación para regular la deposición de escombros y descargas de aguas servidas en los cauces de ríos y quebradas; problemas que deben ser considerados con la debida atención con el objeto de recuperarlo.

9. De acuerdo al estudio de diagnóstico y al de zonificación, es posible llegar a planificar el ordenamiento de la subcuenca que abarca el desarrollo del río Acelhuate, lo cual vendría a coadyuvar a la recuperación propia del mismo.
10. A lo largo del tramo se evidencian obras que han sido construidas con todos los criterios ingenieriles y que si han dado resultado ya que están funcionando adecuadamente (ejemplo, el muro espigonado de la fábrica Eureka).

8.3. Recomendaciones.

De acuerdo a la problemática identificada y las propuestas que se realizan a lo largo de este estudio así como también a los resultados que reflejan las conclusiones, se hacen las siguientes recomendaciones :

1. Delimitar Zonas críticas donde se construirán obras de protección aplicando la metodología del Apéndice B, así como las recomendaciones del Apéndice " C ".

- 2: Que la ordenanza municipal de la OPAMSS para el control del desarrollo urbano y construcción en el AMSS, retome y amplíe lo relativo a zonas de protección de la siguiente manera :

Zonificar áreas a lo largo del río Acelhuate definiendo zonas críticas y delimitando zonas de protección aplicando los criterios hidrológicos, geológicos, geotécnicos propuestos en este estudio cartografiados en el mapa de usos de suelo. Lo que permitirá una mejor planeación de las áreas urbanas y una mejor prevención de riesgo o pérdidas materiales y de vidas humanas.

3. Que conjuntamente organismo gubernamentales (ANDA, CEL, MAG, etc.) y no gubernamentales (ONG'S) continuen buscando alternativas de solución a la problemática de la evacuación inadecuada de aguas (servidas y pluviales) para controlar la contaminación, consecuencia del deterioro ecológico que se está ocasionando en la zona y a lo largo del río Acelhuate para lo cual es imprescindible efectividad en las leyes referentes al control de aguas servidas en todo el país (Decreto 50 ANDA),

además, implementar a largo plazo un plan emergente de reforestación en la subcuenca del río Acelhuate, para controlar la escorrentia superficial que está aumentando la erosión en la zona y el arrastre de sedimentos.

4. El río Acelhuate y sus márgenes no debería ser botadero de escombros y basura del Area Metropolitana de San Salvador, ya que ocasiona grandes problemas en el funcionamiento del río y por lo tanto de la zona en general.
5. Las viviendas localizadas en las laderas y márgenes del cauce del río Acelhuate, (Ej. Comunidad El Granjero No. 1) deberían ser reubicadas a sitios seguros ya que al ocurrir crecidas máximas pueden ser arrastradas por las corrientes del río con la consecuente pérdida de vidas humanas y materiales.
6. En los taludes del área de estudio se debe determinar la conveniencia o no de estructuras como gaviones (estructura flexible) y muros de mamposteria (estructuras rígidas), o en su defecto la búsqueda de construcción de estructuras alternativas como muros armados o monolíticos si fuera necesario.
7. En base a los resultados de Federico Koose, en que la distancia máxima segura es igual a la altura del

talud : $ds=h$, para suelo compuesto de ceniza volcánica, se hagan los estudios correspondientes para ir regulando la distancia óptima de protección en laderas y taludes.

8. Para la protección y conservación de taludes en la zona de estudio se recomienda:

a) Control sobre el agua de escorrentía y la acción erosiva por medio de cunetas revestidas paralelas al borde del talud para interceptar, coleccionar y encauzarla.

b) A largo plazo, proteger las laderas y taludes del río Acelhuate a fin de ir recuperándolo; lo cual puede ser con obras de protección y/o vegetación; y para el diseño de obras de protección, hacer los estudios geotécnicos correspondientes a fin de establecer parámetros propios del lugar y garantizar la seguridad de las estructuras.

9. Que los resultados de este trabajo se integren a la elaboración de mapas de riesgo del AMSS.

8.4 Trabajos Futuros.

1. Investigaciones como la presente deberán continuarse

- para llegar a establecer zonas de protección y parámetros propios en las márgenes del río Acelhuate y de otros ríos y quebradas del país, especialmente en aquellos lugares donde existen asentamientos humanos.
2. Enriquecer con más información geotécnica la zona de estudio, trabajando de manera detallada todo el trayecto del río Acelhuate en su recorrido por el AMSS.
 3. Buscar técnicas alternativas para la protección de taludes en la zona (palopique, impermeabilización, etc.).
 4. Efectuar evaluaciones de las causas principales del volcamiento de las obras de protección, y estabilidad de las pocas estructuras que se mantienen en pie en la zona de estudio; el nivel del impacto que causa el hecho de que las obras no sean estables.
 5. Profundizar en el estudio de las cenizas volcánicas de El Salvador, para definir propiedades índices y mecánicas de manera precisa y conocer su verdadero comportamiento.
 6. Se debe continuar el estudio en otros tramos del río Acelhuate hasta ser abarcado en su totalidad a fin de

tener una panoràmica general de su problemàtica y darle soluci3n a la misma.

B I B L I O G R A F I A

1. Aguilar Colato, Rolando Alberto. (1984). Criterios Geotécnicos de Microzonificación y estimación de las propiedades Dinámicas de los suelos del AMMS . Tesis de grado. UCA. El Salvador.
Págs. 17, 57, 58, 75.
2. Aguilar, C.E. (1985). Erosión en El Salvador y sus estragos. Informe del Comité de Emergencia Nacional. El Salvador.
Págs. 42 y 43.
3. Alastair, White. (1983). El Salvador , UCA editores, 1ª. Edición en español. Pág. 1.
4. Alcaldía Municipal de San Salvador. (1991). Acción Social, Unidad de Planificación del AMSS. Reporte de Población. El Salvador. Pág. 22
5. Algermissen, T. (1983). Riesgo Sismico. Revista ASIA No. 73 El Salvador. Pág. 59
6. Alva Hurtado, Jorge E. (1991). Microzonificación Geotécnica. Seminario Internacional sobre Microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano para mitigación de desastres. Lima. Junio 19 de Julio 12 de 1991. Perú.
Págs. 59 y 60.

7. Armas Guerrero, Jaime. (1986). Análisis de Zonas de Peligro en Asentamientos del Area Metropolitana. Tesis de grado. UCA. El Salvador.
Págs. 17 y 79.
8. Barros, J. (1975). Muros de contención : Proyecto, cálculo, construcción. Barcelona, España.
Págs. 93 - 96.
9. Berggren B., Fallsvik Jan. (1991). Stability of slopes in clay-a description of a risk evaluation method. (SGI). Swedish Geotechnical Institute. Swedish.
Págs. 19, 132, 134.
10. Caledonio, Ana María; Morales Ligia. (1984). Estudio de las Propiedades Mecánicas de los Suelos en el Área Metropolitana de San Salvador. Tesis de grado. UPES. El Salvador.
Págs. 68, 74, 75.
11. CEPREDENAC; ASOI; SGI. (1990). Elaboración de Mapas de riesgo. Seminario. Panamá.
Págs. 18 y 19.
12. Clará M., J. S. (1985). La Erosión y sus Efectos en El Salvador. Tesis de grado. UAE. El Salvador.
Págs. 44 - 45.

13. Comité Técnico de ASIA. (1987). Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de El Salvador . ASIA. El Salvador.
Págs. 8 y 9.
14. Chevez Guerrero, Diógenes de Jesús. (1989). Generación de un Modelo Paramétrico para el Análisis de Crecidas en Pequeñas Cuencas. Trabajo de graduación, Ing. Civil UES. El Salvador.
Págs. 24, 154.
15. Durón Alberto, Carlos A. (1975). Breves comentarios sobre la estabilidad de taludes en canales de drenaje. Tercer congreso nacional de ingeniería. San Salvador, El Salvador.
Págs. 193, 197.
16. Figueroa Hernández, Juan Carlos. (1989). Estudio de los Problemas de Inundaciones e Inestabilidad de Taludes en las Zonas Marginales del AMSS afectadas por el Terremoto del 10 de Octubre de 1986. Trabajo de graduación, Ing. Civil UES. El Salvador.
Págs. 16, 88, 89, 154 - 159.
17. Fondo Social para la Vivienda. (1989). Habitat y Cambio Social. 1ª. Edición. Talleres gráficos UCA. El Salvador.
Págs. 2 - 3, 5, 11.

18. García López, Manuel. (1982). Socavación de Cimentaciones de Puentes. 2º Seminario de Geotécnica. Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de fundaciones. Costa Rica.
Págs. 90 - 91.
19. Guzmán Urbina, Mario Angel; Burgos, Ricardo. (1978). Estudio de las Propiedades Mecánicas de los Suelos del Area Metropolitana de San Salvador. IV Congreso de Ingeniería. ASIA, ASIMEI, ASINQUI. El Salvador. Pág. 62.
20. Instituto Geográfico Nacional. (1973). Diccionario Geográfico de El Salvador. Tomo III. El Salvador. Pág. 12.
21. Kojan, Eugene. (1983). Reporte sobre el Daño de Flujos de Lodo en el Area del Volcán de San Salvador. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Organización de las Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El Salvador.
Págs. 7, 97.
22. Koose, Federico. (1990). Estudio de Deslizamientos de taludes de Barrancos en la Ciudad de Guatemala. Conferencia. Guatemala.
Págs. 19, 20.
23. Legget, Robert F. (1964). Geología para Ingenieros. 3ª Edición. Barcelona. España. Pág. 50

24. Martinez H.M.A. (1980). Cronologia Sismica y Descrip-
tiva de la República de El Salvador
apartir de 1520. Ministerio de Obras
Públicas. CIG. Depto. de Sismologia.
El Salvador. Pág. 58.
25. Martinez, Maximiliano. (1980). Microzonificación
Sismica del Area Metropolitana de San
Salvador. Revista Tecnologia y Cien-
cia. El Salvador. Pág. 59
26. Martinez Flores, Tomás de Jesús. (1985). Estudio del
Sistema de Evacuación Pluvial en las
Areas Hidrográficas que afectan los
Desarrollos Urbanos Valle Nuevo,
Matazano y Santa Lucia. Trabajo de
Graduación. Ing. Civil UES. El
Salvador. Pág. 82.
27. Martinez Rodriguez, Juan Manuel. (1991). Zonificación
geotécnica para el planeamiento urbano
de Bogotá. Seminario internacional
sobre microzonificación y su
Aplicación al planeamiento urbano para
mitigación de desasres. Lima, Junio 19
a Julio 12 de 1991. Perú.
Págs. 103, 104, 131.
28. Melara, Enrique. (1989). Deslizamiento de Tierra en
la Comunidad Guadalupe II, Ciudad
Delgado, San Salvador. Informe, San
Salvador. El Salvador. Pág. 7.

29. Melara, Enrique. (1987). Necesidad de considerar los empujes dinámicos de tierra en el AMSS. Cursos de cimentaciones. El Salvador. Pág. 97.
30. Melara, Enrique. (1988). Apuntes de Clase de Mecánica de Suelos. UES. El Salvador. Págs. 70 - 73.
31. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1979). Informe del Segundo Trimestre del Proyecto de Ordenación de la Subcuenca del Río Acelhuate (POSRA). Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Servicio de Ordenación de Cuencas Hidrográficas y Conservación del Suelo. El Salvador. Págs. 12, 14, 15, 46, 80, 88.
32. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (1983). Manual de Hidrogeología Básica. Plan Nacional de Saneamiento Básico rural. El Salvador. Págs. 81, 82.
33. Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS). (1990). Reglamento de la Ordenanza del Control del Desarrollo Urbano y de la Construcción. San Salvador. El Salvador. Págs. 8 - 9.
34. Pérez, Fernando; Sabas, Walter. (1991). Estabilización de taludes mediante el uso de

gaviones. V seminario nacional de geotécnica, primer encuentro centroamericano de geotécnicos. San José, Costa Rica. Pág. 196.

35. Posada Rivas, Mercedes Eugenia. (1986). Estudio Geológico y Geotécnico del Río Las Cañas y el Problema de la Erosión. Tesis de grado. UCA. El Salvador. Págs. 15, 39 - 41, 47, 82, 84.
36. Prieto Ramirez, Samuel Dario. (1991). La evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico : Una contribución a la planificación urbana. Seminario internacional sobre microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano para mitigación de desastres. Lima Junio 19 a Julio 12 de 1991. Perú. Págs. 100 - 102.
37. Shmidt-Tome Michael. (1973). Traducción al español del informe presentado en Septiembre de 1969 por la Misión Geológica Alemana en El Salvador, sobre Investigaciones Geológicas en la Región Metropolitana de San Salvador y sus Alrededores, con Indicaciones de Riesgos Sísmicos, Hidrología y Planeamiento de Urbanización. Instituto Geotécnico Nacional. El Salvador. Págs. 30 - 39, 63.

38. Sitar Nicolás. (1979). Behavior of Slopes in Weakly Cemented Soils Under Static and Dynamic Loading. A Dissertation Submitted to the Department of Civil Engineering and the Committee on Graduate Studies of Stanford University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. USA.
Págs. 66, 77, 78.
39. SVDU - MOP. (1983). 10a. Conferencia Centroamericana Permanente de Vivienda y Desarrollo Urbano, La Coordinación Institucional, Elemento clave para el Desarrollo de los Asentamientos Humanos. Compilación de conferencia. CIDAI - UCA. El Salvador.
Págs. 2, 3, 5.
40. Torres, Mario Ernesto. (1990). Criterios Hidrogeológicos y Geotécnicos para un Relleno Sanitario . Trabajo de Graduación Ing. Civil. UES. El Salvador.
Págs. 100 - 102, 72 - 74.
41. Quintero Vadena, Cayetano. (1991). La Atalaya. Volumen 112, No. 1 Edición Ultramar, S.A. de C.V. México. Pág. 1.
42. Valverde Mora, Marco; Laporte M. Gastón. (1991). Elementos básicos para la identificación de problemas geotécnicos en proyectos habitacionales. V seminario

nacional de geotécnica, primer encuentro
centroamericano de geotécnicos.
San José, Costa Rica.
Págs. 100 - 103, 131.

APENDICE A

METODO DE LAS ISOCRONAS

APENDICE A

Método de las Isocronas

El método de las Isocronas consiste en la aplicación de la fórmula racional, descomponiendo la superficie de la subcuenca en cierto número de sectores (A1, A2, A3,...An), limitados por líneas Isocronas, de tal manera que una gota de agua que caiga en uno de estos sectores tarda el mismo tiempo en llegar a un punto dado.

El producto del área comprendida entre las isocronas por la intensidad de precipitación y el coeficiente de escorrentía propia de ese sector, permite obtener los caudales parciales para cada área, cuya suma será el caudal total producido por la subcuenca.

Como simplificación en el análisis, se supone que en la subcuenca la distribución de lluvia es uniforme para una duración igual al intervalo escogido; para el trazo de las isocronas, se considera también que el coeficiente de escorrentía superficial conserva en cada zona un valor constante " C " durante toda la tormenta. En la Tabla A.1 se presentan los valores de escorrentías de acuerdo a características del terreno.

La metodología utilizada es la siguiente :

Se determinó el área de la subcuenca.

$$At = 77.5 \text{ Kms}^2.$$

En función de las características físicas de la subcuenca se determinó el tiempo de concentración (T_c), utilizando la fórmula siguiente :

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5 L_c}{0.8 \sqrt{\Delta H}} ; \quad (A.1)$$

donde :

T_c = Tiempo de concentración (horas).

L_c = Longitud del cauce más largo en (Kms).

A = Area (Kms^2).

ΔH = Elevación media de la cuenca, calculada como la diferencia de nivel entre el punto más alto y el punto de interés (mts.).

Datos de la subcuenca :

Elevación máxima = 1840.0 mts.

Elevación mínima = 600.0 mts.

Longitud del cauce más largo (L_c) = 19.6 kms.

Area total = 77.5 kms^2 .

T_c = 81.53 Minutos.

Partiendo de las características físicas anteriores y conociendo el T_c , se puede definir el intervalo de las isocronas, Fig.A.1 y en Fig. A.2 aparecen valores de " C " de la subcuenca.

Para facilitar el trazo de éstas se siguieron los siguientes criterios :

- i) Las isocronas cortan ortogonalmente a los cauces, presentando concavidad hacia aguas abajo.
- ii) El número mínimo de isocronas es de 6 y el área máxima entre estas es de 2.5 Kms².
- iii) El tiempo entre las isocronas se calcula como :

$$T = T_c / N' ; \quad (A.2)$$

donde : N' = número de isocronas.

- iv) La distancia entre las isocronas se calcula así :

$$L_{isoc} = (T \times L_c) / T_c ; \quad (A.3)$$

donde :

L_{isoc} = Distancia entre isocrona.

T = Tiempo entre isocrona.

T_c = Tiempo de concentración.

L_c = Longitud del cauce más largo.

Se calculó el área correspondiente entre cada una de las isocronas. Tabla A.5.

Se definieron las estaciones meteorológicas que se encontraban dentro y cerca del área estudiada (Fig. A.2).- Obteniéndose las intensidades para el T_c, de todos los registros disponibles, la información se obtiene para el tiempo próximo menor y próximo mayor al T_c (Tabla A.3); para cada estación.

Con la información meteorológica escogida se procedió a realizar un ajuste estadístico por medio de la ley de valores extremos (Gumbel), con la finalidad de obtener las curvas " intensidad - duración - frecuencia (I - D - F)", permitirá relacionar la intensidad con un periodo de retorno (Fig. A.3 - Fig. A.10 : Gráficas de Gumbel y curvas (I-D-F) para cada estación.

Conocidas las áreas de cada isocrona y la intensidad de diseño (I_d) (Tabla A.4); se puede calcular el caudal generado por cada área de las isocronas, utilizando la fórmula racional :

$$Q_i = C_i I_i A_i \quad (A.4)$$

Tomando en cuenta que las intensidades de diseño han sido calculadas para 25 años (Tabla A.2) donde se encuentra el cálculo de caudal total (Q_t) que es igual a :

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (A.5)$$

Conociendo el caudal total para el periodo de retorno de 25 años, se analizó las secciones transversales de la comunidad El Granjero No. 1 que fueron calculadas tomando de referencia la estación 0 + 000 a partir del puente Fenadesal localizándose las estaciones 0 + 200 y 0 + 220 hacia el Norte en el recorrido del río. Fig. A.11 y A.12; secciones transversales, para la elaboración de las curvas $AR^{2/3}$ vrs H:

a) Q_h = Caudal hidrológico que corresponde de las

características de la cuenca y de la lluvia precipitada.

$$b) Qh = (1/n) Rh^{2/3} S^{1/2} Ah \quad \text{Ec. de Manning (A.6)}$$

Definidas por las características geométricas e hidráulicas de la sección en estudio.

Se replantea así :

$$(Qh * n') / S^{1/2} = AhRh^{2/3}$$

donde : $AhRh^{2/3}$ = factor geométrico.

$(Qh * n') / S^{1/2}$ = factor hidráulico

n' = rugosidad

S = pendiente

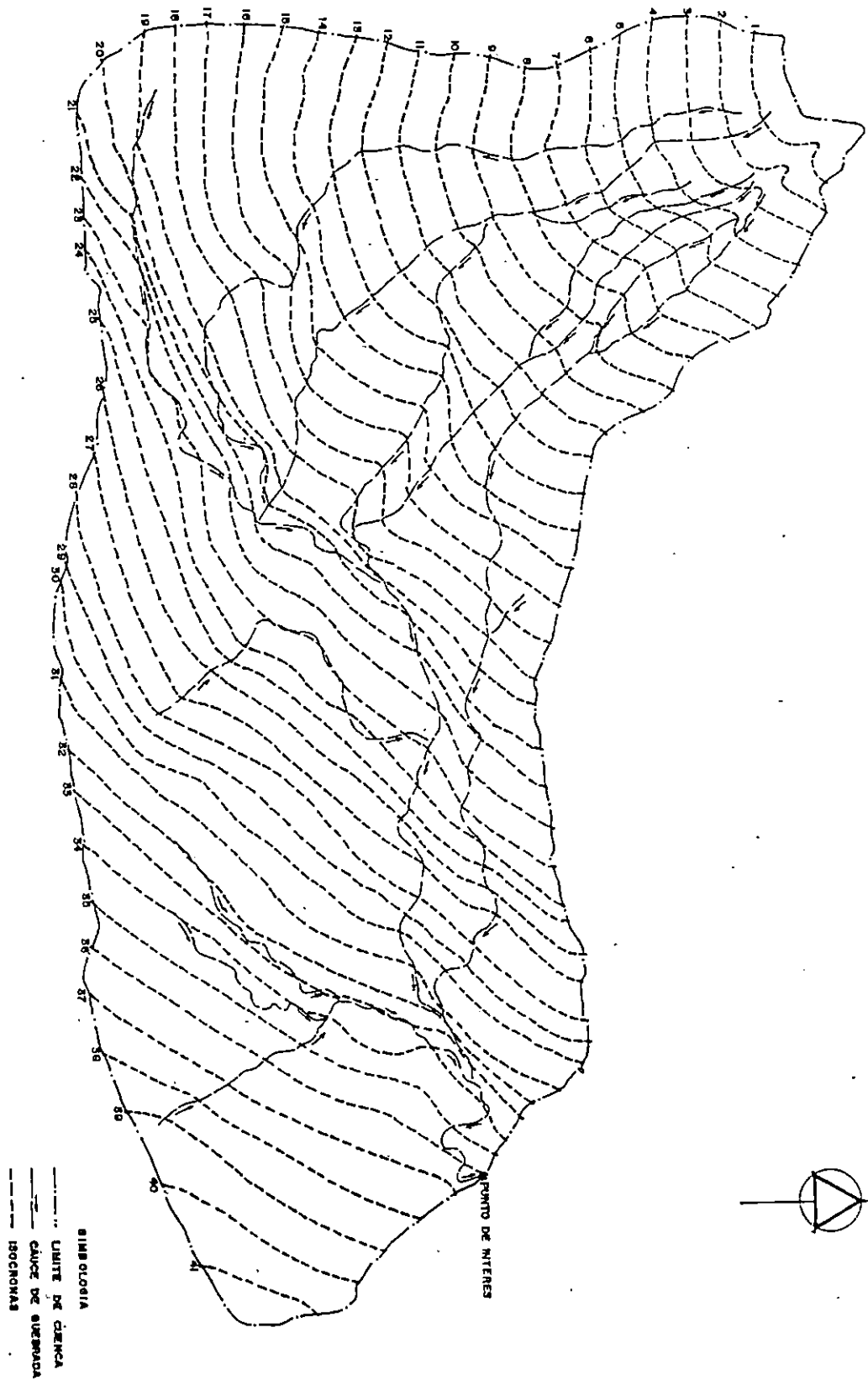
c) A continuación se presenta la tabla A.5 donde se encuentra el cálculo de la curva de descarga natural de las secciones en estudio, dando diferentes variaciones al tirante (H).

d) Para determinar el tirante máximo del periodo de retorno de 25 años, se consideró un $n=0.017$ y se determinó una pendiente (S) = 0.205, Fig. A.11 y A.12; donde se presentan las secciones transversales y las curvas de descargas.

e) Determinando así para la estación 0 + 200 un tirante

máximo de 3.35 mts.; y para la estación 0 + 220 un tirante máximo de 3.62 mts., lo que significa, que para este periodo de 25 años la sección transversal será insuficiente por lo que vendría a inundar la zona.

FIG. A.1 Subcuenca del Río Acahuate



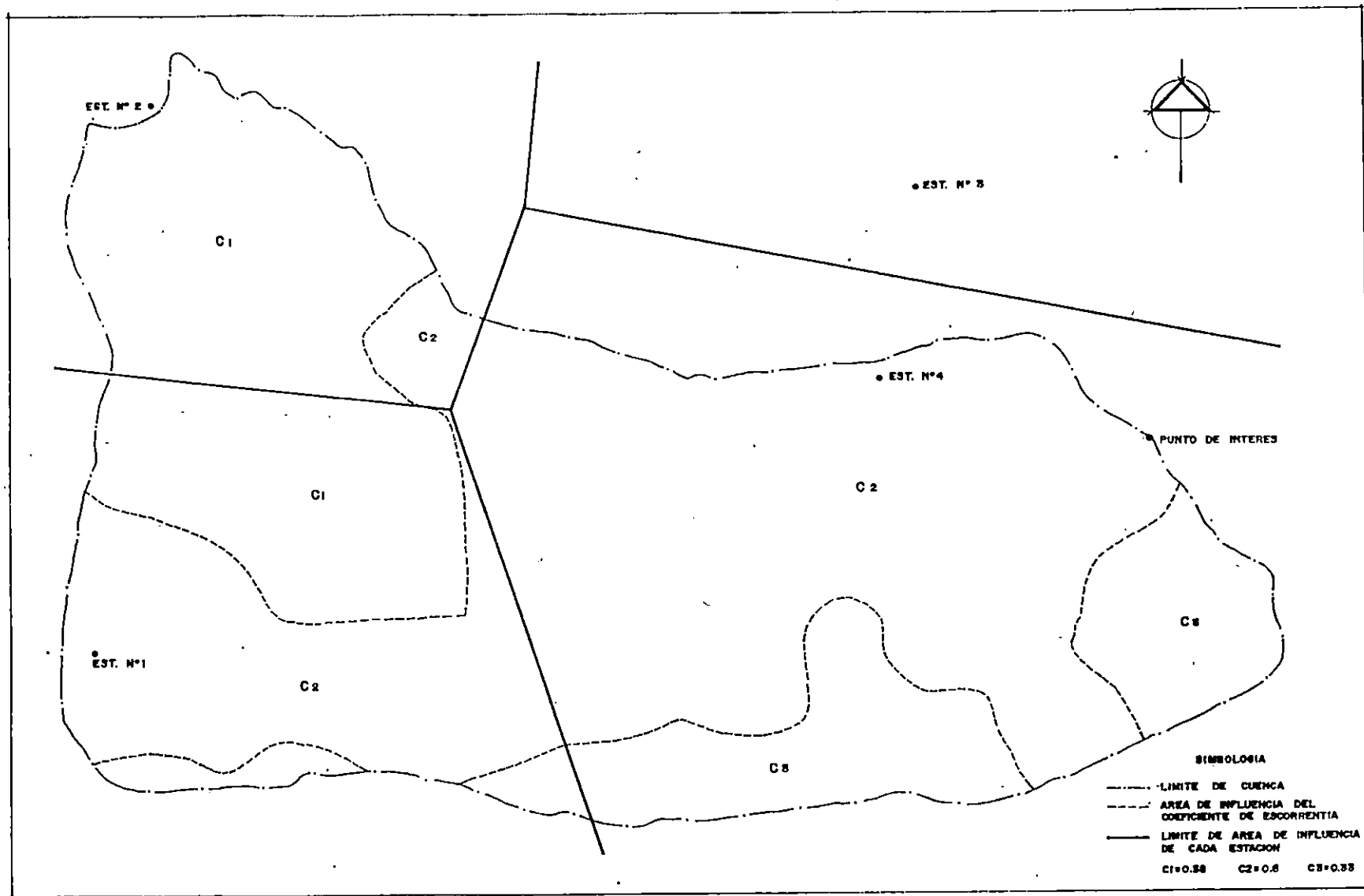


FIG. A.2 Estaciones, áreas tributarias y coeficientes de escorrentía considerada en la subcuenca del Río Acelhuate.

TABLA A.1 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA " C "

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		Mayor de 50%	20% - 50%	5% - 20%	1% - 5%	Menor del 1%
SIN VEGACION	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Tabla A.2 CALCULO DE CAUDAL PARCIAL POR ISOCRONA

Isocrona	C	A(Kms ²)	I(mm/min)	factor de Conversión	Qi(mts ³ /seg)
1	0.38	0.626	0.92	16.667	3.647
2	0.38	0.901	0.92	16.667	5.249
3	0.38	1.099	0.92	16.667	6.403
4	0.38	1.297	0.92	16.667	7.557
5	0.38	1.341	0.92	16.667	7.913
6	0.38	1.385	0.92	16.667	8.070
7	0.38	1.571	0.92	16.667	9.154
8	0.38	1.538	0.92	16.667	8.962
9	0.38	1.736	0.956	16.667	10.511
10	0.38	1.890	0.992	16.667	12.562
11	0.424	1.901	1.028	16.667	13.81
12	0.424	1.890	1.046	16.667	13.971
13	0.468	1.978	1.073	16.667	16.555
14	0.512	2.219	1.076	16.667	20.375
15	0.512	2.219	1.082	16.667	20.488
16	0.523	2.505	1.07	16.667	23.364
17	0.534	2.857	1.064	16.667	27.055
18	0.567	2.747	1.052	16.667	27.309
19	0.593	2.879	1.052	16.667	29.934
20	0.60	1.978	1.04	16.667	20.571
21	0.573	2.088	1.04	16.667	20.738
22	0.578	2.066	1.034	16.667	20.579
23	0.573	2.439	1.028	16.667	23.945
24	0.578	2.264	1.022	16.667	22.290
25	0.586	1.956	1.016	16.667	19.409

CONT. Tabla A.2 CALCULO DE CAUDAL PARCIAL POR ISOCRONA

Isocrona	C	A(Kms ²)	I(mm/min)	factor de Conversión	Qi(mts ³ /seg)
26	0.592	2.088	1.01	16.667	20.808
27	0.586	2.198	1.004	16.667	21.553
28	0.546	2.505	0.998	16.667	22.750
29	0.546	1.934	0.992	16.667	17.458
30	0.532	1.999	0.984	16.667	17.441
31	0.519	2.352	0.981	16.667	19.959
32	0.492	2.109	0.98	16.667	16.948
33	0.519	1.275	0.98	16.667	10.808
34	0.519	1.714	0.98	16.667	14.529
35	0.519	2.022	0.98	16.667	17.141
36	0.546	1.846	0.98	16.667	16.463
37	0.546	1.934	0.98	16.667	17.248
38	0.478	1.758	0.98	16.667	13.725
39	0.411	1.560	0.98	16.667	10.472
40	0.371	1.428	0.98	16.667	8.653
41	0.33	1.011	0.98	16.667	5.449
42	0.33	0.396	0.98	16.667	2.134

 Qt=653.95
 mts³/seg.

Tabla A.3

INTENSIDADES POR ESTACION

Estación de Santa Tecla.

30 min	45 min	60 min	90 min	Frecuencia (%)	120 min
0.83	0.66	0.50	0.40	3.125	0.32
0.83	0.69	0.54	0.42	6.25	0.35
0.89	0.69	0.56	0.43	9.38	0.35
0.91	0.71	0.58	0.43	12.50	0.36
0.94	0.74	0.59	0.45	15.63	0.36
1.01	0.76	0.60	0.45	18.75	0.36
1.05	0.77	0.61	0.46	21.88	0.38
1.11	0.79	0.66	0.47	25.00	0.38
1.13	0.87	0.67	0.48	28.13	0.38
1.25	0.88	0.67	0.50	31.25	0.40
1.26	0.88	0.68	0.52	34.37	0.41
1.26	0.93	0.70	0.53	37.50	0.41
1.27	0.94	0.75	0.53	40.63	0.41
1.27	0.96	0.75	0.55	43.75	0.44
1.33	1.02	0.78	0.56	46.87	0.44
1.35	1.05	0.80	0.59	50.00	0.44
1.36	1.089	0.87	0.61	53.12	0.44
1.37	1.10	0.89	0.62	56.25	0.45
1.39	1.11	0.90	0.63	59.37	0.47
1.41	1.14	0.91	0.64	62.50	0.47
1.45	1.15	0.91	0.67	65.62	0.50
1.46	1.20	0.96	0.68	68.75	0.52
1.56	1.24	0.97	0.70	71.87	0.52
1.58	1.25	1.02	0.70	75.00	0.54
1.58	1.26	1.03	0.704	78.12	0.54
1.73	1.27	1.07	0.78	81.25	0.56
1.77	1.35	1.14	0.83	84.37	0.65
1.80	1.44	1.14	0.85	87.50	0.65
1.84	1.48	1.17	0.94	90.62	0.74
1.95	1.56	1.32	0.98	93.75	0.75
2.00	1.67	1.49	1.15	96.87	0.88

Estación Observatorio.

30 min	45 min	60 min	90 min	Frecuencia (%)	120 min
0.95	0.67	0.50	0.35	3.12	0.31
0.99	0.68	0.53	0.40	6.75	0.32
1.01	0.69	0.58	0.41	9.38	0.32
1.02	0.73	0.59	0.45	12.50	0.33
1.03	0.76	0.59	0.45	15.63	0.33
1.05	0.76	0.60	0.45	18.75	0.34
1.06	0.78	0.61	0.50	21.88	0.34
1.07	0.84	0.66	0.51	25.00	0.38
1.17	0.94	0.72	0.52	28.13	0.38
1.19	0.94	0.74	0.53	31.25	0.40
1.20	0.95	0.74	0.53	34.37	0.42
1.23	0.98	0.76	0.56	37.50	0.43
1.24	0.99	0.77	0.57	40.63	0.46
1.27	1.01	0.78	0.58	43.75	0.46
1.29	1.01	0.81	0.59	46.87	0.46
1.30	1.058	0.81	0.592	50.00	0.462
1.30	1.06	0.82	0.60	53.12	0.47
1.33	1.06	0.83	0.62	56.25	0.48
1.33	1.07	0.84	0.63	59.37	0.48
1.33	1.07	0.86	0.65	62.50	0.48
1.35	1.07	0.87	0.65	65.62	0.49
1.36	1.11	0.87	0.67	68.75	0.49
1.377	1.13	0.89	0.68	71.87	0.50
1.39	1.13	0.91	0.69	75.00	0.54
1.40	1.14	0.92	0.71	78.12	0.54
1.47	1.15	0.92	0.71	81.25	0.56
1.51	1.22	0.98	0.73	84.37	0.57
1.56	1.32	0.99	0.75	87.50	0.57
1.63	1.46	1.10	0.75	90.62	0.58
1.99	1.48	1.12	0.88	93.75	0.77
2.02	1.67	1.23	1.22	96.87	1.03

Estación El Boquerón:

30 min	45 min	60 min	90 min	Frecuencia (%)	120 min
0.84	0.68	0.57	0.30	6.25	0.19
1.01	0.87	0.75	0.41	12.50	0.39
1.20	0.94	0.76	0.55	18.75	0.416
1.22	0.97	0.78	0.562	25.00	0.42
1.24	0.989	0.79	0.60	31.25	0.43
1.26	1.01	0.80	0.60	37.50	0.44
1.27	1.02	0.84	0.60	43.75	0.44
1.30	1.07	0.86	0.61	50.00	0.48
1.31	1.07	0.89	0.61	56.25	0.48
1.37	1.12	0.91	0.64	62.50	0.48
1.42	1.14	0.92	0.64	68.75	0.53
1.45	1.14	0.93	0.66	75.00	0.54
1.46	1.16	0.95	0.66	81.25	0.58
1.58	1.17	0.99	0.73	87.50	0.59
1.79	1.324	0.998	0.75	93.75	0.62

Estación San Salvador ITIC.

30 min	45 min	60 min	90 min	Frecuencia (%)	120 min
0.97	0.70	0.55	0.36	3.45	0.22
1.06	0.78	0.59	0.36	6.80	0.29
1.08	0.79	0.63	0.42	10.34	0.29
1.11	0.81	0.63	0.45	13.79	0.34
1.12	0.84	0.64	0.46	17.24	0.37
1.13	0.88	0.66	0.47	20.69	0.37
1.14	0.90	0.69	0.48	24.14	0.38
1.15	0.92	0.70	0.50	27.59	0.38
1.18	0.92	0.72	0.51	31.03	0.38
1.20	0.93	0.73	0.51	34.48	0.40
1.21	0.93	0.74	0.52	37.93	0.40
1.24	0.94	0.74	0.52	41.38	0.40
1.28	0.97	0.77	0.52	44.83	0.41
1.30	0.97	0.78	0.53	48.27	0.41
1.35	0.99	0.79	0.54	51.72	0.42
1.35	1.00	0.79	0.56	55.17	0.42
1.37	1.00	0.80	0.56	58.62	0.43
1.41	1.02	0.81	0.59	62.07	0.43
1.50	1.11	0.84	0.60	65.52	0.43
1.52	1.16	0.91	0.61	68.96	0.44
1.52	1.20	0.94	0.64	72.41	0.45
1.55	1.22	0.97	0.64	75.86	0.47
1.64	1.28	0.98	0.65	79.31	0.50
1.67	1.34	1.02	0.66	82.76	0.51
1.70	1.42	1.17	0.75	86.21	0.73
1.74	1.46	1.28	0.95	89.65	0.73
1.91	1.51	1.37	1.07	93.10	0.86
2.05	1.67	1.43	1.24	96.55	0.98

FIG. A.3 Gráficas estadísticas de Gumbel

Estación: Santa Tecla

RETURN PERIOD (Years)

PERIODO DE RETORNO

1.001 1.01 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 2 3 4 5 10 15 20 25 50 100 200 300 400-500 1000

INTENSIDAD (mm/min)

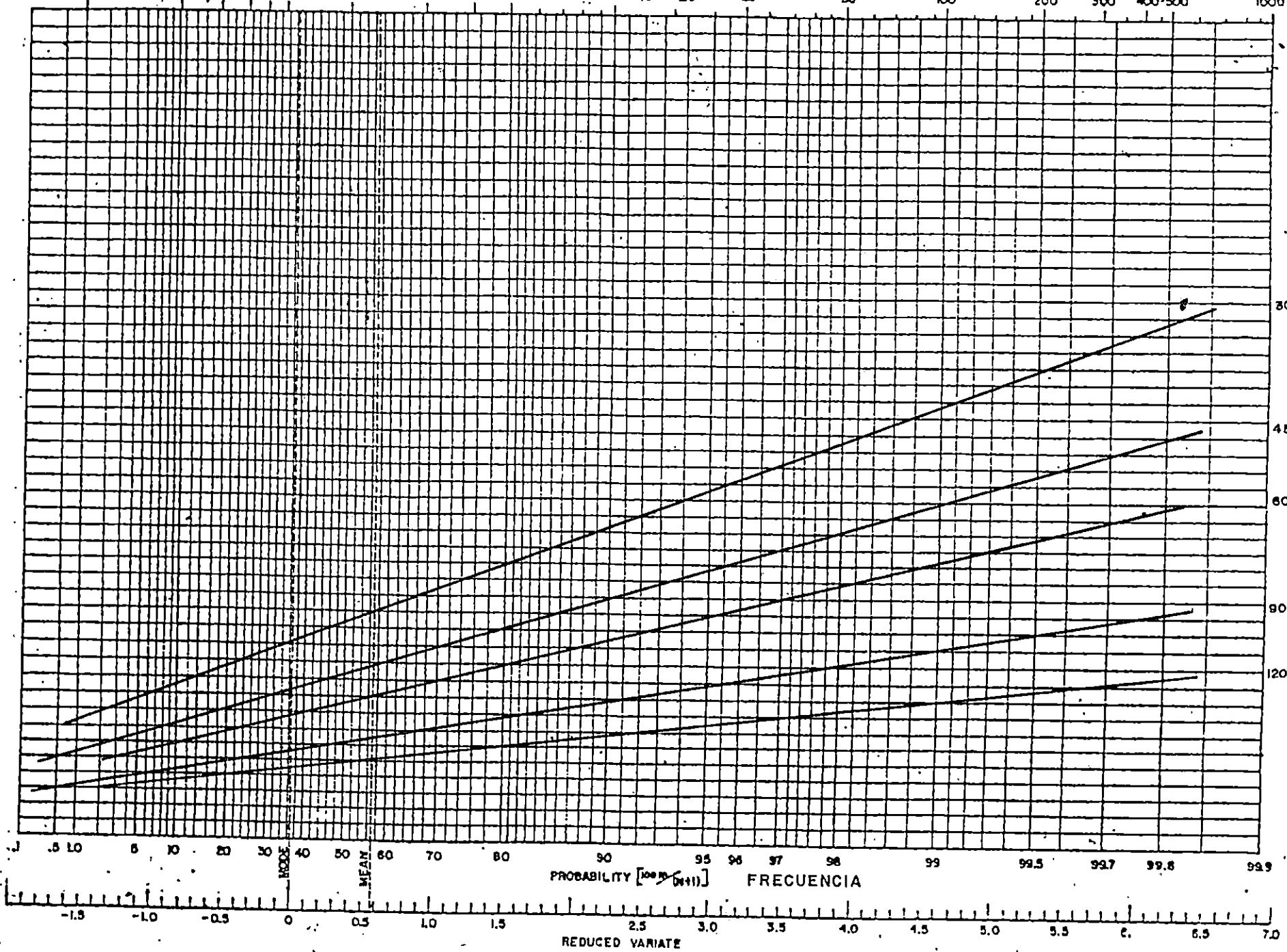
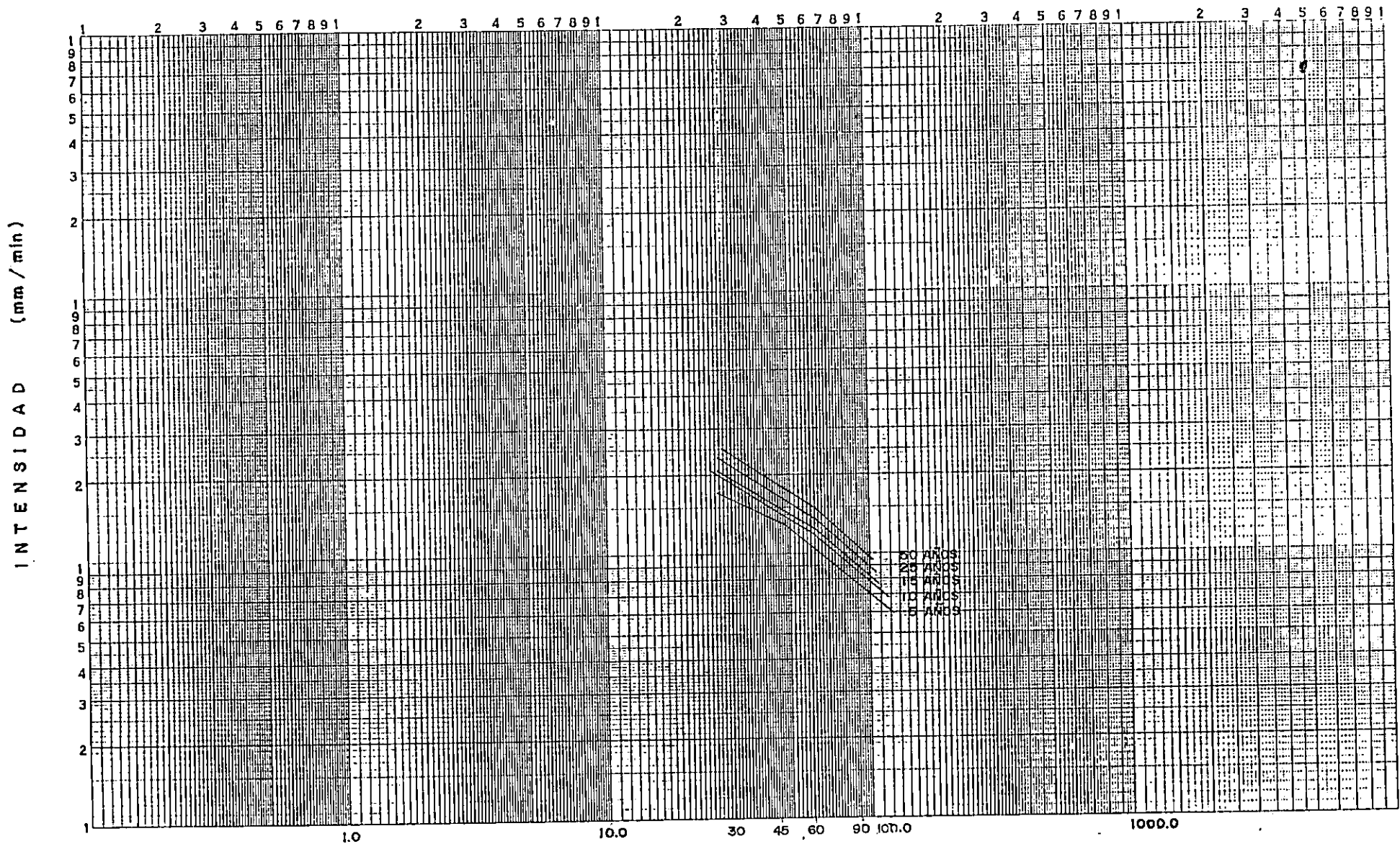


FIG. A.4 Curvas (I-D-F)

Estación : Santa Tecla



DURACION (min)
CURVA INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA'

FIG. A.5 Gráficas estadísticas de Gumbel

Estación: Observatorio

RETURN PERIOD (Years)

PERIODO DE RETORNO

1.001 1.01 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 2 3 4 5 10 15 20 25 50 100 200 300 400-500 1000

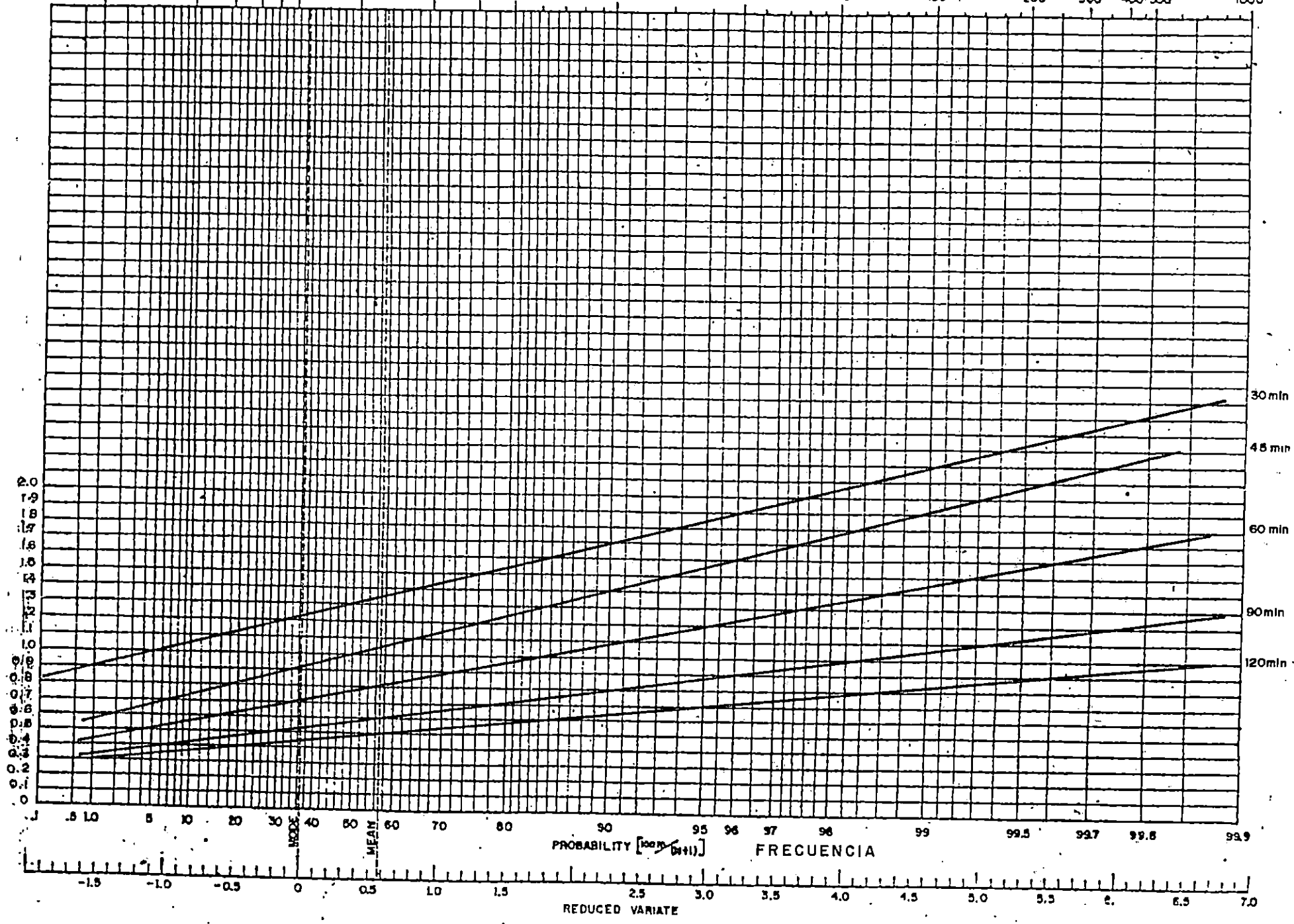
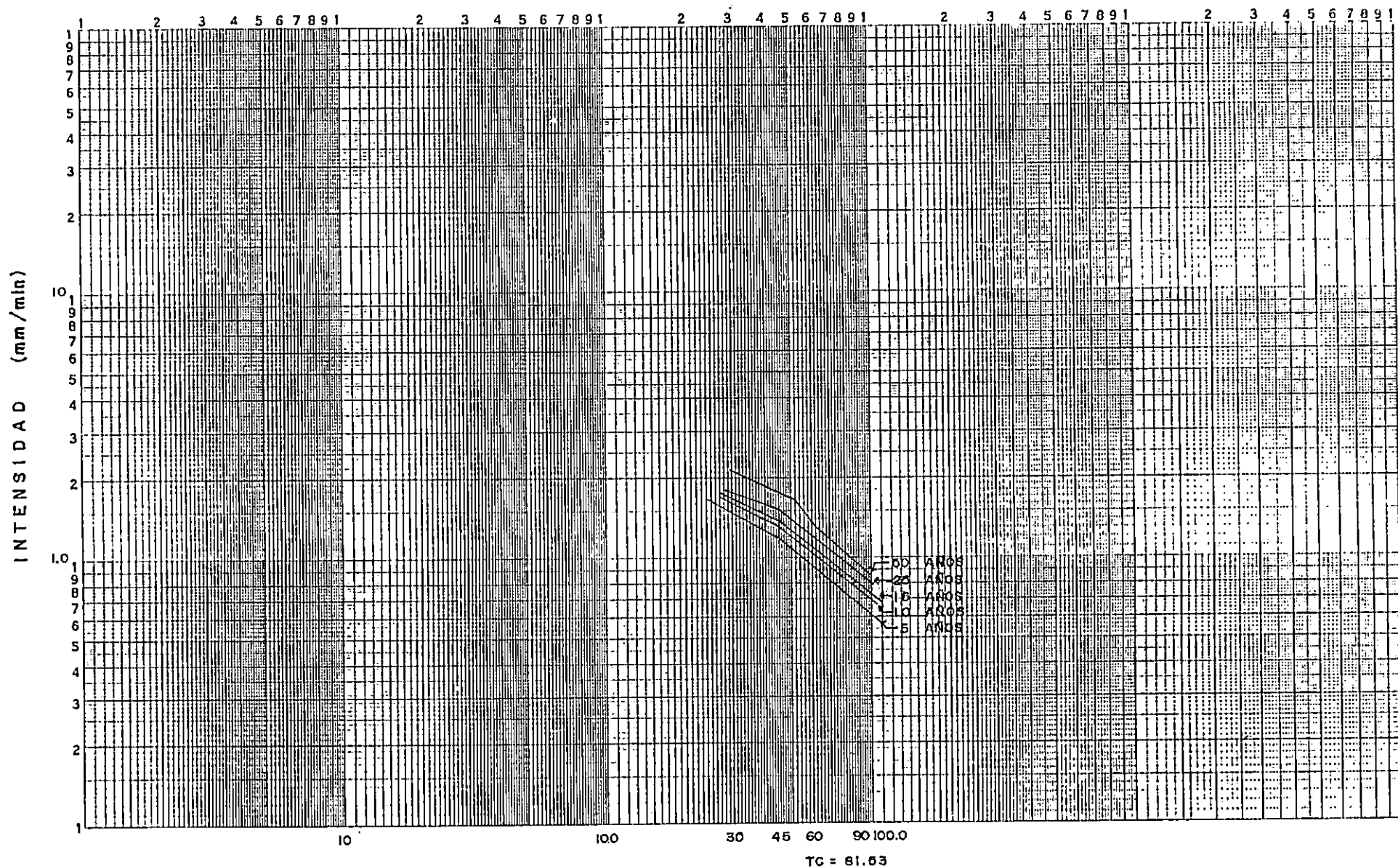


FIG. A.6 Curvas (I-D-F)

Estación : Observatorio



DURACION (min)
CURVA - INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA

FIG. A.7 Gráficas estadísticas de Gumbel

Estación: San Salvador ITIC

RETURN PERIOD (Years)

PERIODO DE RETORNO

1.001 1.01 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 2 3 4 5 10 15 20 25 50 100 200 300 400-500 1000

INTENSIDAD (mm / min)

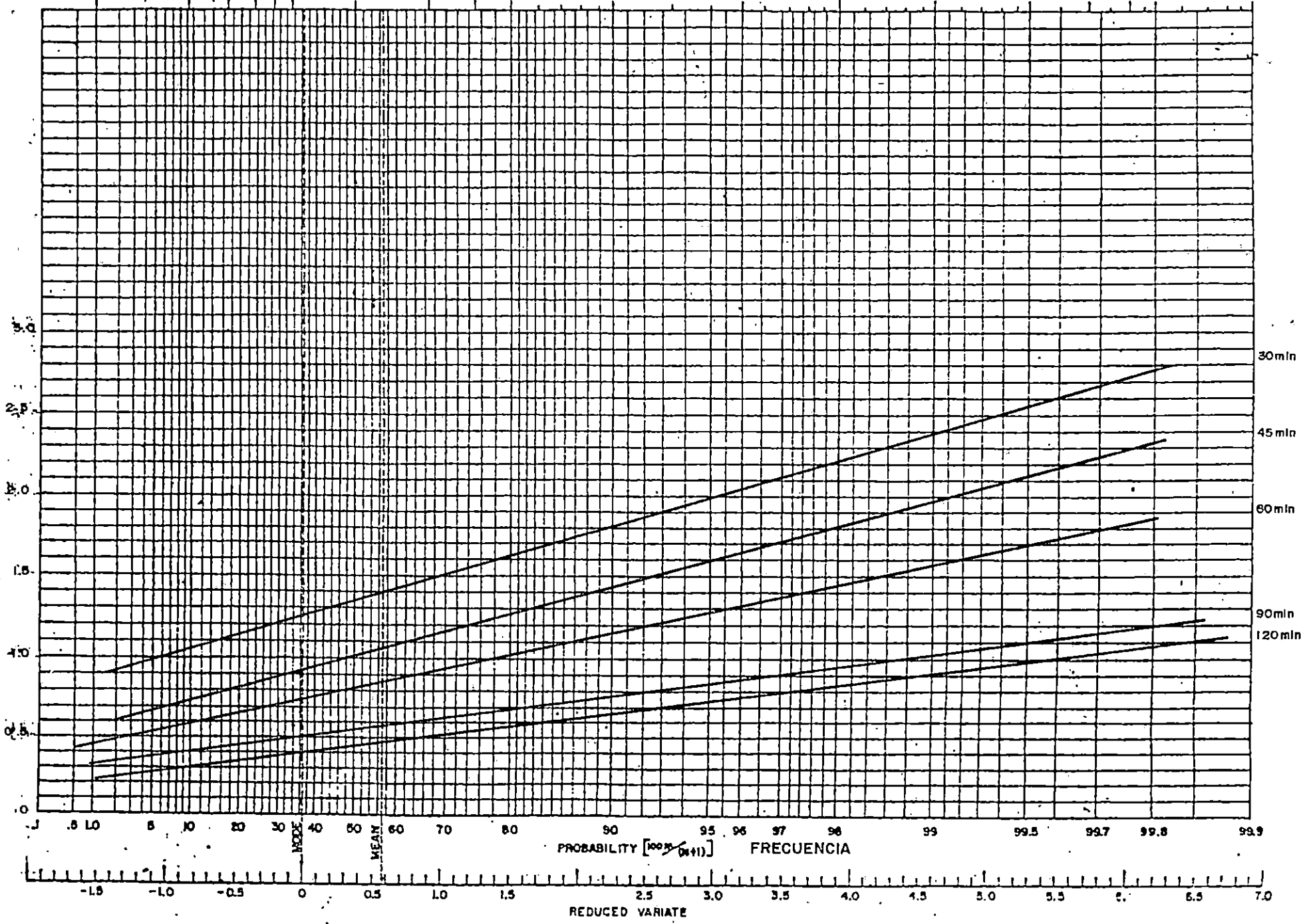
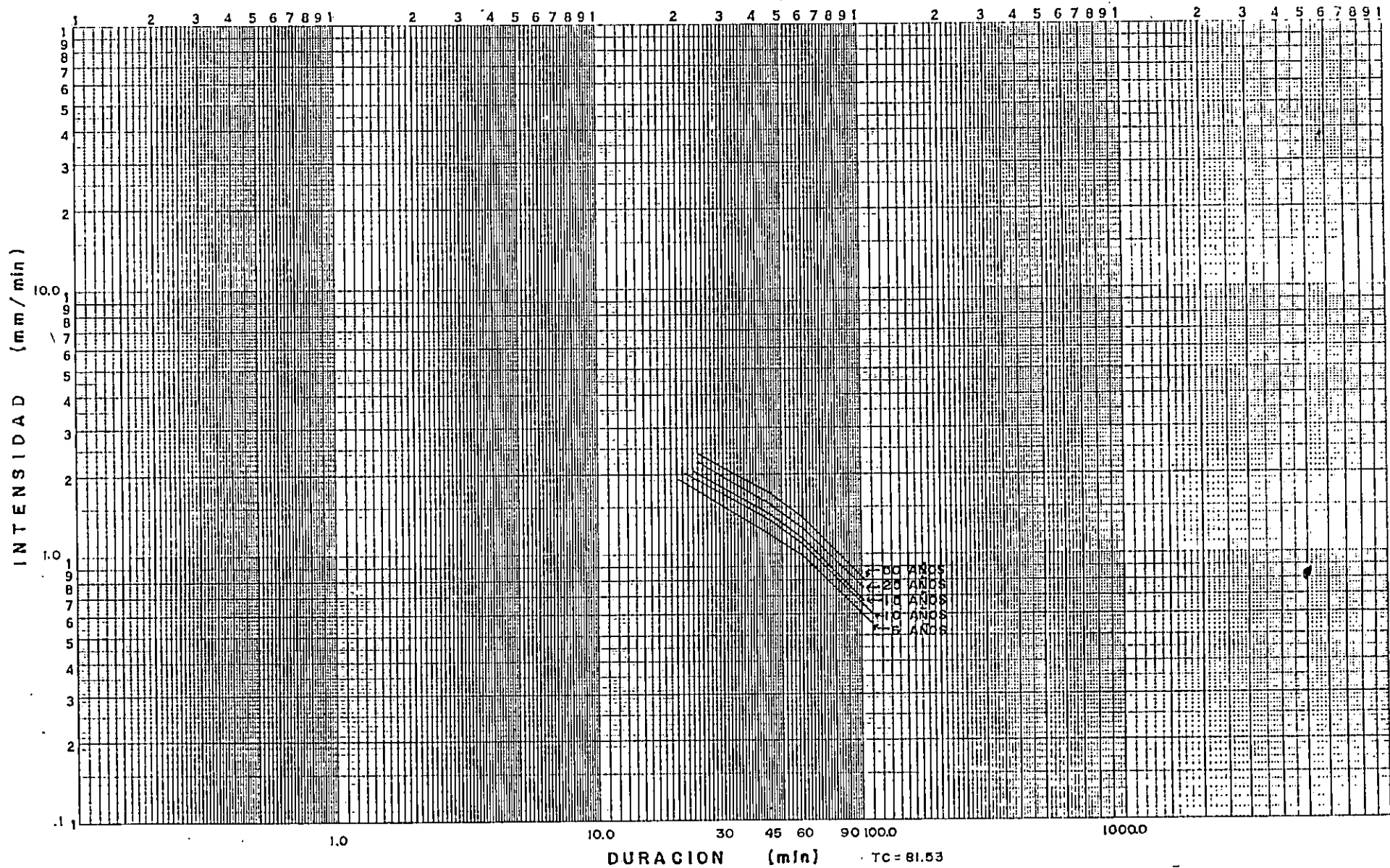


FIG. A.8. Curvas (I-D-F)
Estación : San Salvador ITIC



CURVA INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA

FIG. A. 9 Gráficas estadísticas de Gumbel

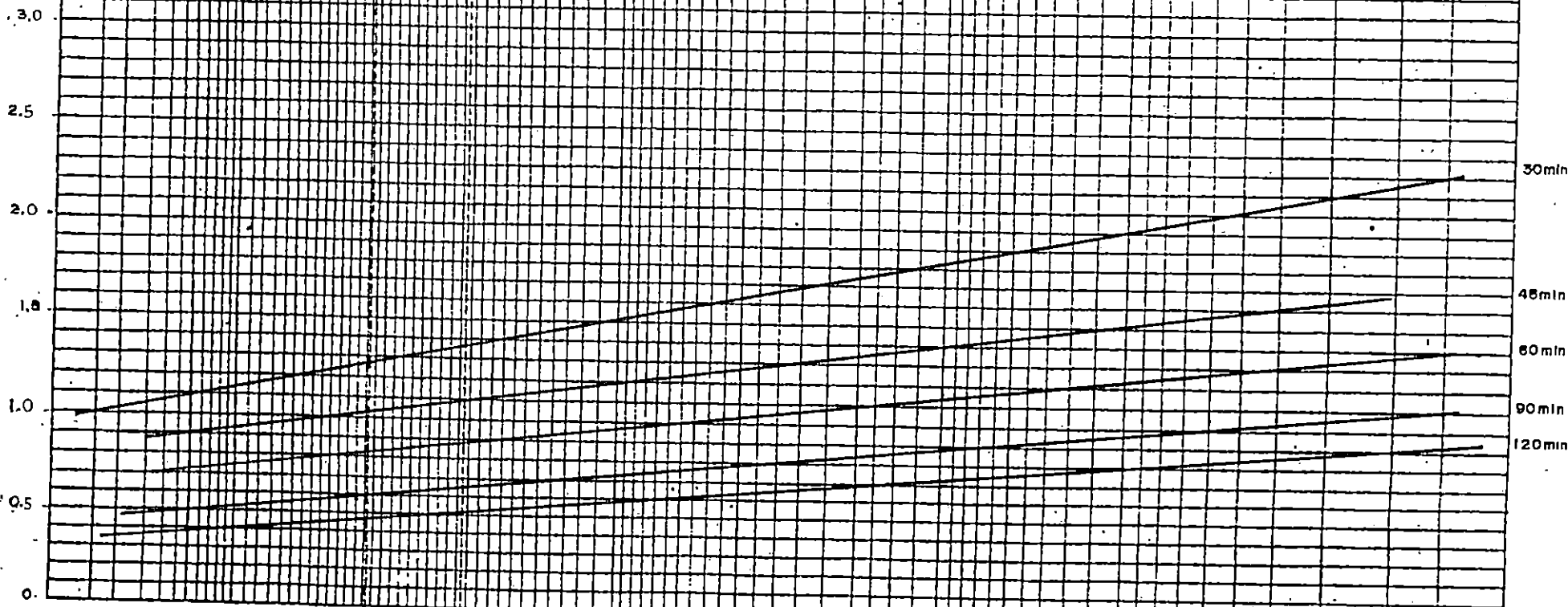
Estación: El Boquerón

RETURN PERIOD (Years)

PERIODO DE RETORNO

1.001 1.01 1.2 1.3 1.4 1.5 2 3 4 5 10 15 20 25 50 100 200 300 400-500 1000

INTENSIDAD (mm/min)



J .5 1.0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 95 96 97 98 99 99.5 99.7 99.8 99.9

PROBABILITY [100P/(1+P)] FRECUENCIA

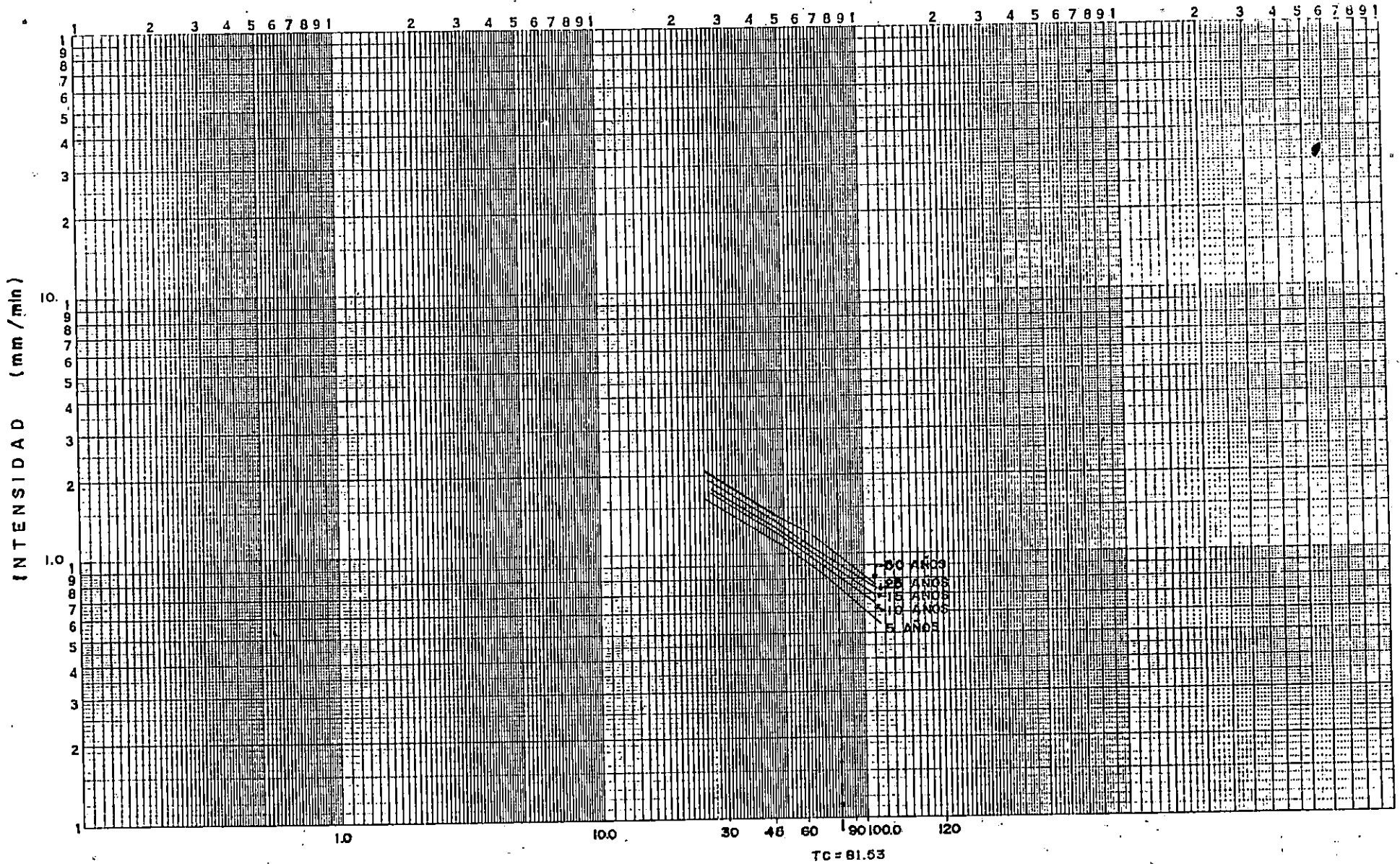
-1.5 -1.0 -0.5 0 0.5 1.0 1.5 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0

REDUCED VARIATE

MODE MEAN

FIG. A.10 Curvas (I-D-F)

Estación : El Boquerón



DURACION (min)
CURVA - INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA

Tabla A.4 INTENSIDADES DE DISEÑO

ESTACION	PERIODO	INTENSIDAD en mm./min.					INTENSIDAD DE DISEÑO
		30min	45min	60min	90min	120min	en mm./min.
SAN SALV.	5 años	1.60	1.25	1.01	0.69	0.57	0.78
ITIC	10 años	1.79	1.41	1.14	0.76	0.65	0.85
Estac. # 3	15 años	1.85	1.47	1.18	0.79	0.69	0.90
UNIVERSIDAD	25 años	2.03	1.62	1.30	0.88	0.77	0.99
NACIONAL	50 años	2.20	1.79	1.43	0.94	0.82	1.08
	5 años	1.52	1.23	0.95	0.69	0.57	0.73
OBSERVATORIO	10 años	1.68	1.38	1.07	0.78	0.62	0.84
Estac. # 4	15 años	1.72	1.42	1.10	0.80	0.67	0.89
	25 años	1.89	1.59	1.22	0.89	0.71	0.98
	50 años	2.20	1.74	1.32	0.97	0.77	1.08
	5 años	1.67	1.39	1.08	0.76	0.59	0.85
SANTA TECLA	10 años	1.90	1.48	1.22	0.86	0.67	0.96
Estac. # 1	15 años	1.99	1.53	1.28	0.89	0.69	1.02
	25 años	2.21	1.70	1.41	0.99	0.77	1.10
	50 años	2.44	1.89	1.57	1.09	0.82	1.20
	5 años	1.48	1.17	0.75	0.69	0.58	0.73
EL BOQUERON	10 años	1.60	1.24	1.00	0.75	0.62	0.81
Estac. # 2	15 años	1.64	1.27	1.03	0.78	0.65	0.87
	25 años	1.77	1.35	1.09	0.83	0.70	0.92
	50 años	1.89	1.43	1.22	0.89	0.89	0.99

Tabla A.5 CALCULO DE CURVA DE DESCARGA.

Estación 0 + 200					
Tirante	Area(mts ²)	Perimetro Mojado(mts.)	Radio Hidráulico (A/P)	Rh ^{2/3}	ARh ^{2/3}
0.50	1.15235	5.07	0.227	0.372	0.429
1.0	3.32735	6.07	0.548	0.669	2.226
1.5	5.67485	7.17	0.791	0.855	4.852
2.0	8.23235	8.27	0.995	0.997	8.208
2.5	11.077	9.52	1.163	1.106	12.254
3.0	14.307	10.67	1.341	1.216	17.397
3.20	15.697	11.15	1.408	1.256	19.717

Estación 0 + 220					
Tirante	Area(mts ²)	Perimetro Mojado(mts.)	Radio Hidráulico (A/P)	Rh ^{2/3}	ARh ^{2/3}
0.5	0.92	3.60	0.256	0.403	0.371
1.0	2.74	6.04	0.454	0.591	1.622
1.5	5.917	7.34	0.806	0.866	5.124
2.0	8.48	8.44	1.005	1.003	8.504
2.5	11.285	9.59	1.177	1.115	12.583
3.0	14.493	11.09	1.307	1.195	17.324
3.5	17.948	12.09	1.484	1.301	23.356
4.0	21.534	13.09	1.645	1.393	30.002
4.5	25.186	14.09	1.787	1.473	37.096
4.7	26.672	14.49	1.841	1.502	40.060

APENDICE B

METODOLOGIA PARA LA LOCALIZACION

Y CLASIFICACION DE ZONAS CRITICAS

DEL AREA DE ESTUDIO

APENDICE B

Metodología para la Localización y Clasificación de Zonas Críticas del Area de Estudio.

En esta sección se presenta una metodología para la clasificación de zonas críticas del área de estudio, basada en todos aquellos parámetros que fueran indicativos de las condiciones existentes en la misma, como son : La socavación, características de los taludes existentes, inundación, ubicación de las viviendas, descargas de aguas servidas, etc.

Para la evaluación de los parámetros antes descritos, se procedió a dar rangos de valores, a cada categoría de una forma cualitativa en la cual la condición más desfavorable se evalúa con el mayor puntaje, lo que se muestra en las Tablas B.1 - B.12 posteriormente se analizaron cada uno de los parámetros existentes en cada comunidad asignándoles el puntaje correspondiente, de acuerdo a las características que predominan en las mismas, en la Tabla B.13 se presenta dicho resultado, las diferentes zonas en que se dividió el área de estudio, fueron evaluados de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla B.13 en la que se obtuvo la sumatoria de la evaluación en cada comunidad los mayores puntajes representan las zonas más críticas del área de estudio y por ende las de menor valor representan las menos

criticas. En la Tabla B.14 se muestran los puntajes para la evaluación de las comunidades de acuerdo al riesgo y en la B.15 las comunidades seleccionadas en la Figura B.1 se presenta la localización y clasificación de zonas criticas.

Tabla B.1 Grado de socavación de taludes
(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
ALTA	10.0
MEDIA	8.0
MODERADA	6.0
BAJA	4.0

Tabla B.2 Socavación en estructuras
(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
En muros de manposteria de piedra	6.0
En muros gavionados	5.0
En pilas y bases de puentes	7.0

Tabla B.3 Altura de taludes.

(Rango de valores asignados por mts. de altura).

DESCRIPCION	PUNTAJE
0 - 5 mts.	2.0
5 - 10 mts.	4.0
10 - 15 mts.	6.0
15 - 20 mts.	8.0
20 - 30 mts.	9.0

Tabla B.4 Inclinación del talud

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
60°	2.0
60° - 75°	4.0
75° - 90°	8.0

Tabla B.5 Deslizamientos de taludes

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
De grandes proporciones y frecuentes	9.0
De grandes proporciones y eventuales	7.0
Pequeños deslizamientos frecuentes	5.0
Pequeños deslizamientos eventuales	3.0

Tabla B.6 Inundación

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
Inundación frecuente de un gran sector en crecidas.	8.0
Inundación eventual de un gran sector solo en crecidas máximas.	5.0
Inundación eventual en crecidas máximas pequeño sector.	3.0

Tabla B.7 Ubicación de las viviendas
 (Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
En el cauce del rio.	8.0
En la corona de taludes criticos.	8.0
En la corona de taludes menos criticos.	5.0
En las márgenes del rio no en taludes.	6.0
Separadas del río una distancia prudencial pero de peligro.	3.0
Viviendas sin peligro.	0.0

Tabla B.8 Descarga de aguas servidas.
 (Rango de valores asignados).

DESCRIPCION.	PUNTAJE
En la corona del talud.	8.0
Al pie del talud.	5.0
Al cuerpo del talud.	7.0
Directa al cauce con sistema apropiado de drenaje.	1.0
Directa al cauce inadecuado.	3.0

Tabla B.9 Depósito de ripio

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
En pequeñas cantidades en las márgenes.	2.0
En pequeñas cantidades en el cauce.	4.0
En grandes cantidades en las márgenes.	6.0
En grandes cantidades en el cauce.	8.0

Tabla B.10 Tectonismo .

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
En lavas	2.0
En tobas	4.0
En cenizas	6.0
En arenas	8.0
En orgánicos	8.0

Tabla B.11 Cubierta vegetal

(Rango de valores asignados).

DESCRIPCION	PUNTAJE
Deforestación en la margen del río	3.0
Vegetación escasa en la margen	2.0
Deforestación en el cuerpo del talud	8.0
Vegetación escasa en el talud	4.0
Vegetación abundante en el talud	1.0

Tabla B.12 Tipo de material.

DESCRIPCION	PUNTAJE
Lavas.	1.0
Tobas color gris.	3.0
Tobas color café.	5.0
Tobas color blanco.	5.0
Arenas de pómez consolidadas.	6.0
Arenas de pómez de baja cohesión (arenas limosas).	8.0
Cenizas volcánicas cementadas.	7.0
Suelo negro orgánico.	9.0

Tabla B.13 Puntajes asignados a cada comunidad de acuerdo a las características predominantes en las mismas .

COMUNIDAD PARAMETRO DE EVALUACION	GALLEGOS Nº 1	GALLEGOS Nº 2	HARRISON STEP	SAN MARTIN	FLORIDA	LAS MARGARITAS	FENADESAL SUR	IO DE OCTUBRE	EL GRANJERO Nº 2	EL GRANJERO Nº 1	EL GRANJERO	BOLIVAR	SAN LUIS PORTALES	SAN MARTIN PRIVADO	FRANCISCO MORAZAN	QUIÑONEZ MUNICIPAL	EL CORO NUEVO LAS CASITAS	CONDOMINIOS ATONAL
GRADO DE SOCAVACION	4	1	8	6	6	4	6	6	1	6	6	4	6	6	10	4	4	6
SOCAVACION EN ESTRUCTURAS	-	6	-	-	-	-	7	7	-	5	5	-	-	-	7	-	-	5
ALTURA DEL TALUD	2	2	8	2	4	6	4	6	2	2	2	4	4	4	8	4	2	4
INCLINACION DEL TALUD	2	2	8	2	2	2	2	8	2	2	2	4	4	4	8	2	2	4
DESLIZAMIENTOS	3	-	7	-	3	3	3	3	-	5	-	3	5	5	9	3	3	5
INUNDACIONES	3	5	-	5	3	3	3	-	5	8	3	3	-	-	-	3	3	-
UBICACION DE VIVIENDAS	5	6	8	6	6	3	3	5	3	8	6	6	5	5	8	6	6	5
DESCARGA AGUAS SERVIDAS	3	3	7	3	3	3	3	5	3	3	3	3	7	7	8	3	3	3
DEPOSITO DE RIPIO	2	-	-	-	-	-	-	2	-	4	2	-	8	-	2	-	-	8
TECTONISMO	3	4	8	4	4	6	6	6	8	-	-	-	4	4	8	4	4	6
CUBIERTA VEGETAL	2	3	8	3	3	2	2	4	2	3	3	2	4	4	8	3	3	6
TIPOS DE SUELO	5	6	7	3	5	5	7	5	7	8	8	6	6	6	8	3	3	7
T O T A L E S	34	37	69	34	39	37	46	57	30	54	40	35	53	45	64	35	33	59

Tabla B.14 Evaluación de comunidades de acuerdo al riesgo.

DESCRIPCION	PUNTAJE	COLOR EN MAPA
Zona crítica	65.0	Rojo
Zona de alto riesgo	65.0 - 50.0	Anaranjado
Zona de riesgo moderado	50.0 - 40.0	Amarillo
Zona de bajo riesgo	40.0	Celeste

Tabla B.15 Clasificación de las comunidades de acuerdo al riesgo que presentan.

COMUNIDAD	ZONA CRITICA	ZONA DE ALTO RIESGO	ZONA DE RIESGO MODERADO	ZONA DE BAJO RIESGO
Gallegos No. 1				X
Gallegos No. 2				X
Harrison Step	X			
San Martin				X
Florida				X
Las Margaritas				X
Fenadesal Sur			X	
10 de Octubre		X		
El Granjero No. 2				X
El Granjero No. 1		X		
El Granjero			X	
Bolívar				X
San Luis Portales		X		
San Martín Privado			X	
Francisco Morazán	X			
Quiñonez Municipal				X
El Coro Nvo. (Las Casitas)				X
Condominios Atonal		X		

APENDICE C

RECOMENDACIONES GENERALES

REFERENTES A OBRAS DE PROTECCION

A OBRAS IMPLEMENTADAS EN LA ZONA

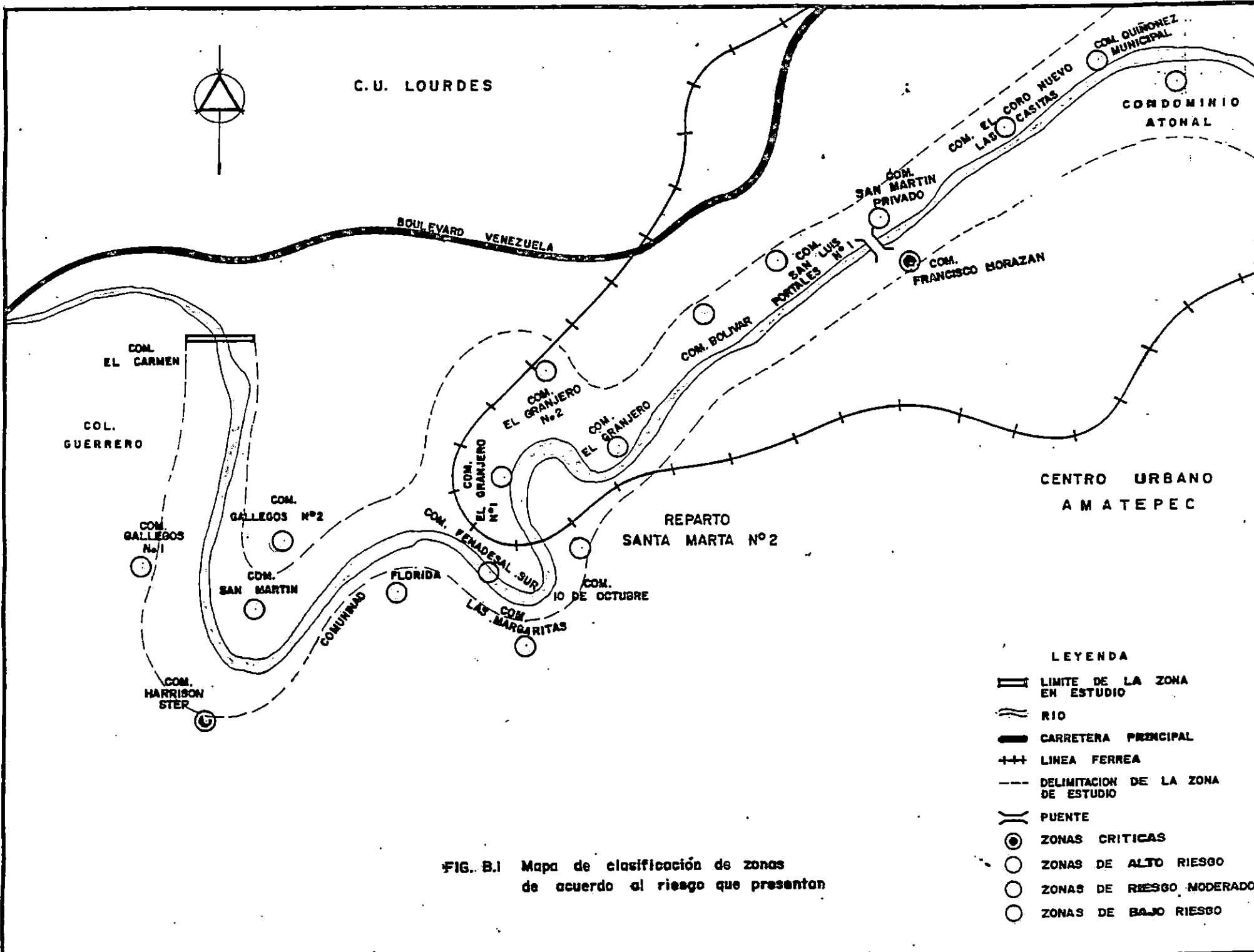




FIG. B.1 Mapa de clasificación de zonas de acuerdo al riesgo que presentan

APENDICE C

Recomendaciones Generales Referentes a Obras de Protección a ser Implementadas en la Zona.

 Para la reparación de muro de mampostería de piedra que actualmente está siendo socavado en su base y amenaza con volcarse, se recomienda realizar un estudio geotécnico a fin de determinar la profundidad de las fundaciones para que sea reforzado adecuadamente. Foto 7.3.

 Construir muro de contención de 4.0 mts. de altura para la protección de los taludes en las comunidades Gallegos No. 1, San Martín, Fenadesal Sur, San Luis Portales, San Martín Privado, comunidad 10 de Octubre, costado Oriente de comunidad El Grajero y una parte de comunidad Francisco Morazán, si la altura del talud en estas comunidades es mayor de 4 mts. desbastar el talud a una inclinación de 75° y revestirlo con mortero de mezcla 1:4 para impermeabilizarlo colocando una malla de alambre como refuerzo en las partes más problemáticas del mismo fijado por medio de anclajes de hierro Fig. C.1. En las comunidades San Martín, El Granjero No. 1, El Granjero y Bolívar el problema mayor son las inundaciones por lo tanto de acuerdo al estudio

hidrológico y a la investigación de campo la altura recomendada del muro será de 4.0 mts., para contener el avance de las corrientes en las crecidas.

○ . Esta zona no necesita obras de protección actualmente ya que se observa material tobáceo en el lecho del río que es más resistente a la erosión de las corrientes; además, los taludes son de poca altura comprende el costado Oriente de la comunidad San Martín, la comunidad Florida y Las Margaritas.

● . En esta zona no se recomienda construir obras de protección ya que las corrientes pasan a una distancia prudencial de la margen de los taludes, el problema principal lo constituyen las viviendas ubicadas en el cauce del río las que deben ser reubicadas a otro lugar más seguro ya que cada vez que hay crecidas, éstas están expuestas a ser arrastradas por las corrientes y por lo tanto pueden perder la vida los habitantes de éstas zonas.

○ . Esta zona no requiere obras de protección ya que las corrientes corren distantes a la margen del talud los cuales no son de alturas significativas, tampoco existen viviendas próximas al río en este sector.

● . Evitar la depositación de ripio en éstas zonas ya que como consecuencia el río cambia su curso ocasionando socavación en los taludes de la otra orilla y por lo tanto deslizamientos de suelo con los consiguientes resultados negativos en la zona. Las comunidades en esta zona son San Luis Portales y frente a condominio Atonal.

● . En zona de peligro con deslizamientos de suelos frecuentes, la altura de los taludes es problemática y se manifiestan de manera vertical completa, el efecto de las corrientes sobre la base de los mismos produce una socavación muy severa y destructiva, como consecuencia se producen los deslizamientos de suelo.

Se recomienda la construcción de un muro de concreto tipo espigonado como el construido en la Fabrica EUREKA. (Foto 7.16) determinando la cota de fundación por medio de sondeos de penetración estándar. La altura del muro sería de 5.0 mts. que es el nivel máximo que alcanzan las corrientes en las crecidas en ambos lugares : Comunidad Morazán y comunidad Harrison Step. A partir de esa altura revestir el talud con mortero y malla de alambre previamente anclada al terreno por medio de pines o clavos dándole al talud una inclinación de 75° a partir del borde superior del muro hasta la corona Fig. C.1.



. En esta zona existen algunos muros de contención por lo que actualmente no necesita obras adicionales porque el material en el lecho del río es tobáceo y por lo tanto más resistente a la erosión.



. Reparar adecuadamente los gaviones construidos en esta zona ya que el ademado ha sido destruido por las corrientes, evitar la depositación de escombros en la fabrica de postes de concreto sobre la margen del río para que este no se desvie más hacia los taludes del costado Sur-Oriente, al Oriente de los condominios, en el meandro que forma, se recomienda construir un muro espigonado de concreto hasta una altura de 4.0 mts. a partir de esa altura reforestar el talud con vegetación de poco peso. En la Fig. C.2 se presentan las recomendaciones relativas a obras de protección a ser implementadas en la zona.

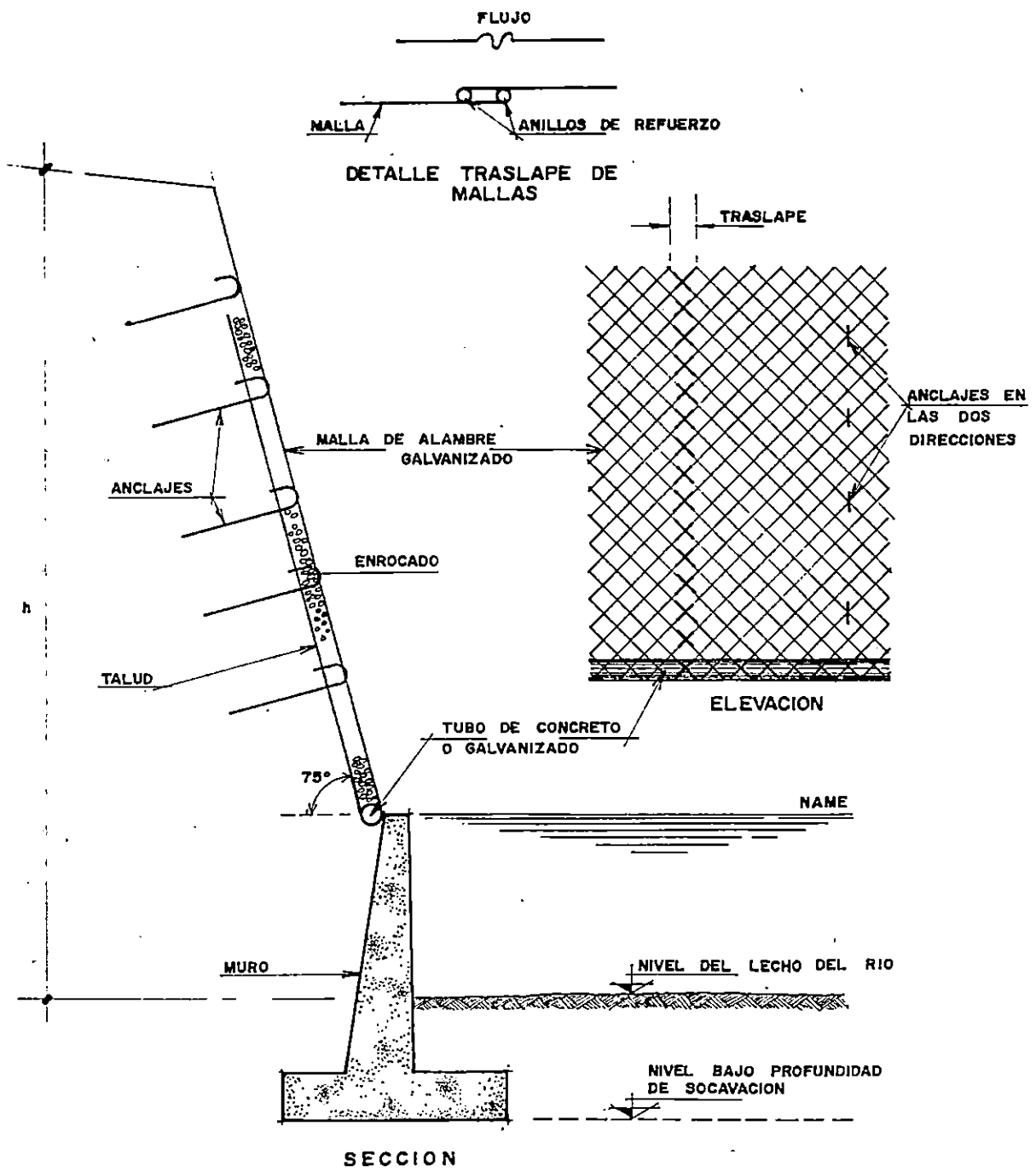


FIG. C.1 Protección de taludes con mallas de alambre

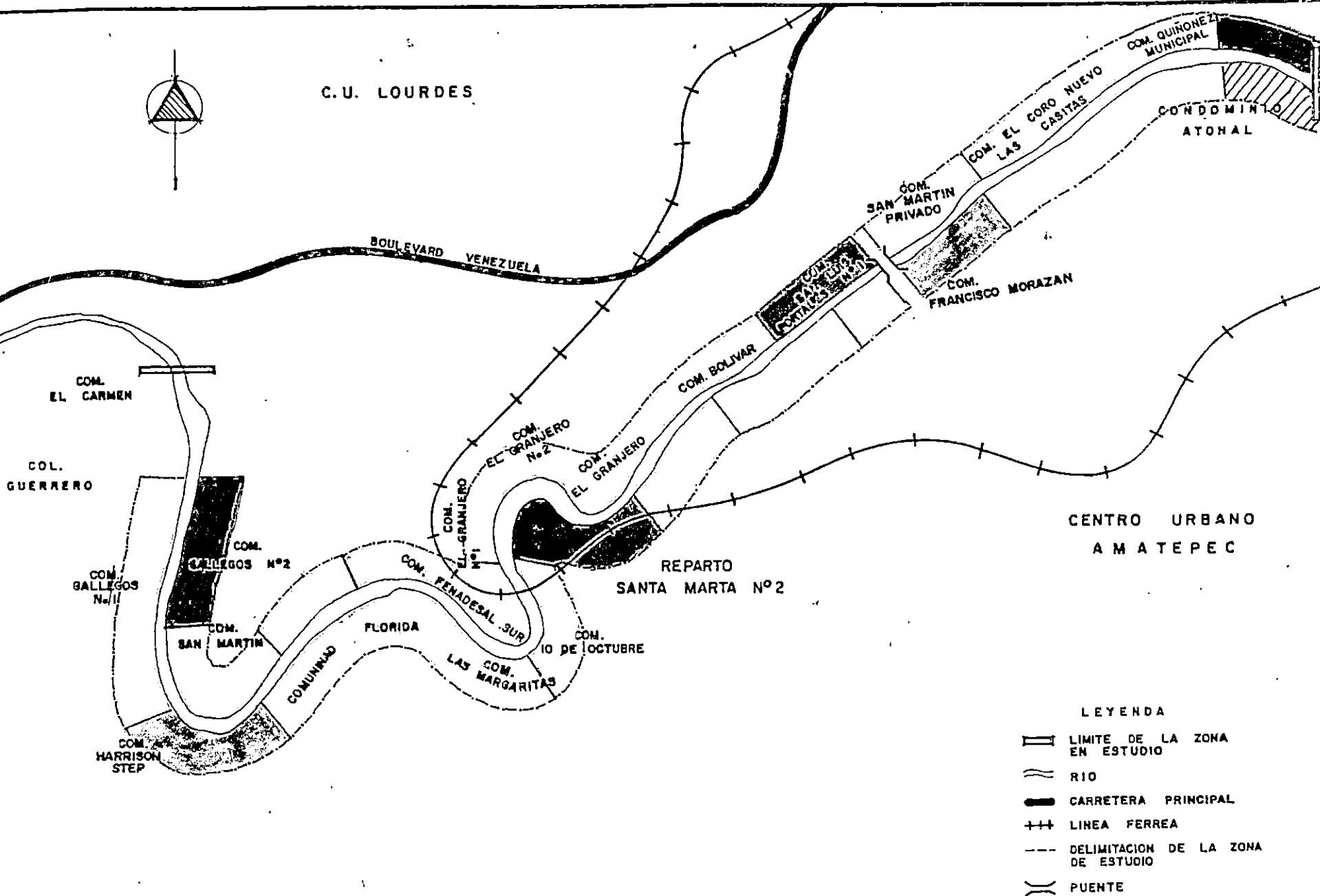


FIG. C-2 Recomendaciones relativas a obras de protección a ser implementadas en la zona.

ANEXO DE

TABLAS

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION		
Suelos de partículas gruesas (Mas del 50% es retenido en el tamiz N°200)	GRAVAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos.	CLASIFICACION SEGUN EL % DE FINOS: PASA MENOS DEL 5% POR LA MALLA N°200 PASA MAS DEL 12% POR LA MALLA N°200 ENTRE EL 5 Y EL 12% PASA POR LA MALLA 200 INDEFINIDO, SE ASIGNA DOBLE SIMBOL.	$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor que 4	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos.		$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3	
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena, y limo.		No satisfacen ambos criterios para ser clasificado como GW	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		LOS LÍMITES DE ATTERBERG QUE QUEDAN ABAJO DE LA LINEA "A" O EL ÍNDICE PLÁSTICO ES MENOR QUE 4. SOMBREADA SON CASOS INDEFINIDOS QUE REQUIEREN DOBLE SIGNO.	
	ARENAS	Mas del 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N° 4.	SW		Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor que 6
			SP		Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3
			SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	No se satisfacen ambos criterios para SW
		Arenas con finos	SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LOS LÍMITES DE ATTERBERG QUEDAN ABAJO DE LA LINEA "A" O EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD ES MENOR QUE 4. SOMBREADA SON CLASIFICACIONES INDEFINIDAS Y REQUIEREN DOBLE SIMBOL
						LOS LÍMITES DE ATTERBERG QUEDAN ARRIBA DE LA LINEA "A" Y EL ÍNDICE PLÁSTICO ES MAYOR QUE 7.
Suelos de grano fino (50% o mas pasa el tamiz N° 200)	Limos y arcillas con límite líquido de 50% o menor	ML	Limos inorgánicos arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos, poco plásticos.	<p>CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICAR SUELOS DE PARTICULAS FINAS Y LAS FRACCIONES FINAS DE LOS SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS. LA ECUACION DE LA LINEA "A" ES: $IP = 0.73 (LL - 20)$</p>		
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arena o limo, arcillas dobles.			
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50%	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos clásicos.			
		CH	Arcillas inorgánicas, de alta plasticidad, arcillas francas			
		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad			
Suelos con elevado contenido orgánico.	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Identificación visual o manual			

A n e x o N o . 1

Tabla 5.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos(S.U.C.S.).

Tabla 6.2 (ANEXO 2)

Cuadro resumen de los eventos atemporalados en El Salvador.

EVENTO	DESCRIPCION
Del 8 al 12 de Junio de 1934	Este ha sido uno de los más desastrosos, afectó todo el país, con grandes inundaciones, que causó casi 1000 víctimas.
30 de Sept. de 1949	Centenares de víctimas en San Salvador.
5, 6 de Oct. de 1950	Aumento de crecidas en el río Acelhuate, arrastra viviendas y ocasiona daños en todo el país.
En el año de 1961 a 1965	Ocasionan daños por más de ocho millones de colones, dejando una secuela irreparable de pérdidas de vidas humanas.
Del 19 al 21 de Sept. de 1974	Destacándose el Huracán Fifi, haciendo estragos en el río Acelhuate.
Del 16 al 20 de Sept. de 1982	Temporal que produjo el aluvión de Montebello, causando pérdidas irreparables e incalculables.
Agosto y Septiembre de 1988	Dos temporales azotan el territorio nacional, siendo el más fuerte el Huracán Gilbert, que ocasionó 3288 casa destruidas, sobre todo en los departamentos de La Unión, San Miguel, Usulután y La Paz. Inundó unos 380 Km ² , dejando en pérdidas materiales más de treinta millones de colones, con un saldo de 42,267 personas damnificadas.

ANEXO DE
FOTOGRAFIAS

Foto 5.1
Taludes verticales de
mas de 30m de altura .



Foto 5.2
Taludes de cenizas
volcánicas .





Foto 5.3 Distribución Estratigráfica de los suelos en talud de Com. Francisco Morazan .

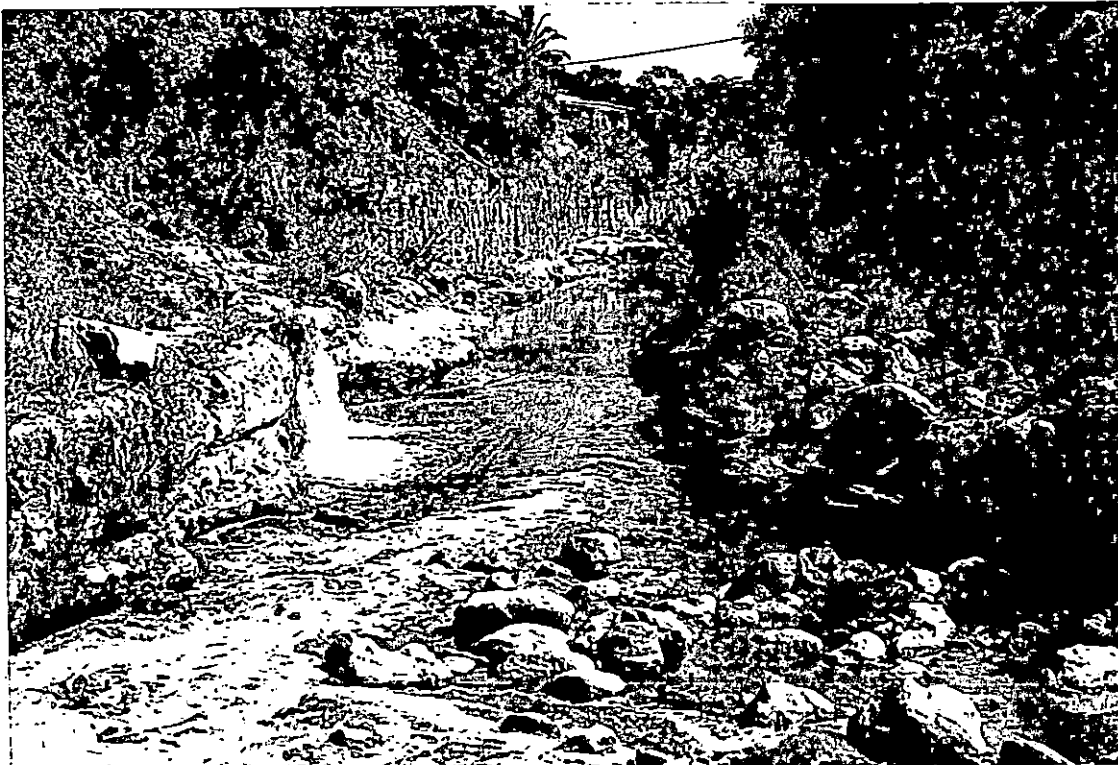


Foto 5.4 Tobas en el lecho del Río ,en Comunidad Quiñonez .

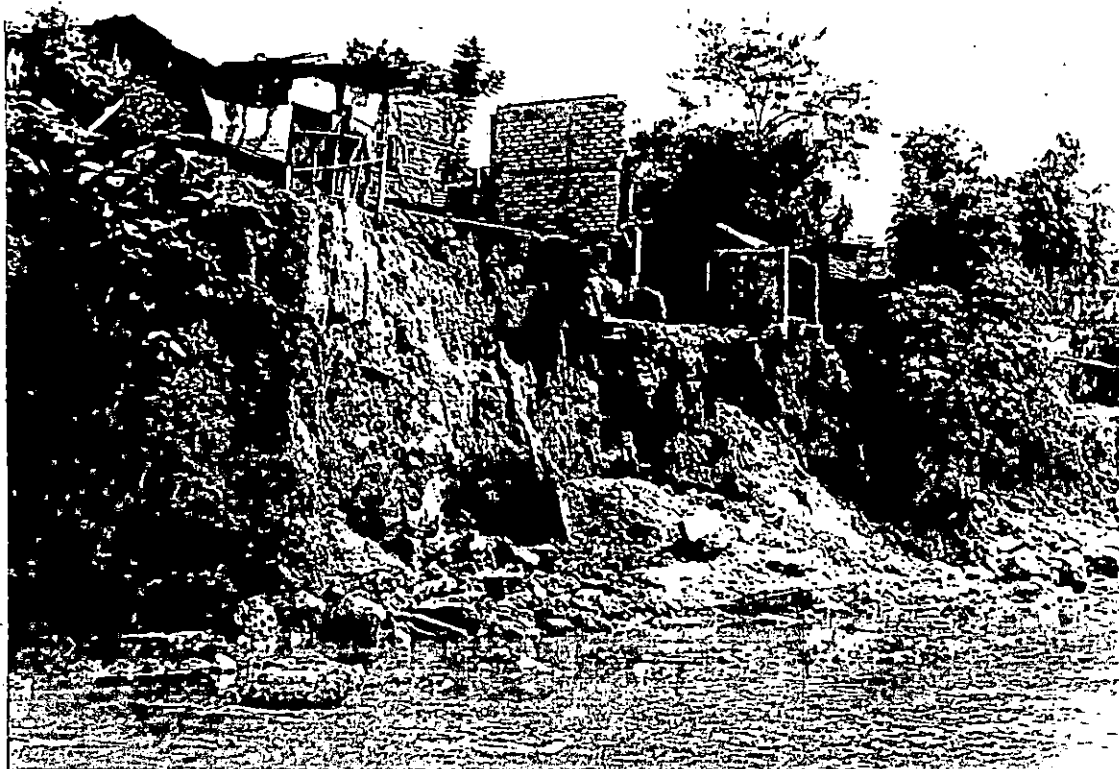


Foto 5.5
Viviendas destruidas por
derrumbe de talud, Com.
San Luis Portales.



Foto 5.6
Socavación en la base del
muro sostenedor de línea
férica, Com. Fenadesal Sur.



Foto 5.7 Socavación en la base del muro de mampostería.



Foto 5.8
Tobas cementadas color gris
en el lecho del Río, comuni-
dades San Martín y Florida.



Foto 5.9
Estratos de lahares y cantos
rodados mezclados con arenas,
Comunidad Francisco Morazán.



Foto 6.1 Viviendas ubicadas aguas abajo del Río Acelhuate .



Foto 6.2 Viviendas construídas o la orilla del Río Acelhuate .



**Foto 7.1 Socavación en taludes
debido a la fuerza de
las corrientes del río.
com. Fco. Morazán**



Foto 7.2 Gaviones construidos en Condominios Atonal con efectos de socavación en sus bases.



Foto 7.3 Muros de mampostería en Comunidad Gallegos N° 2 en los que se está produciendo socavación en sus bases.



**Foto 7.4 Erosión por descargas de
aguas lluvias o servidas .
com. 10 de octubre**



Foto 7.5 Ubicación de viviendas en la corona del talud, al borde del mismo. com. San Luis Portales



**Foto 7.6 Deslizamiento frecuente de taludes
(Comunidad Harrison Step).**

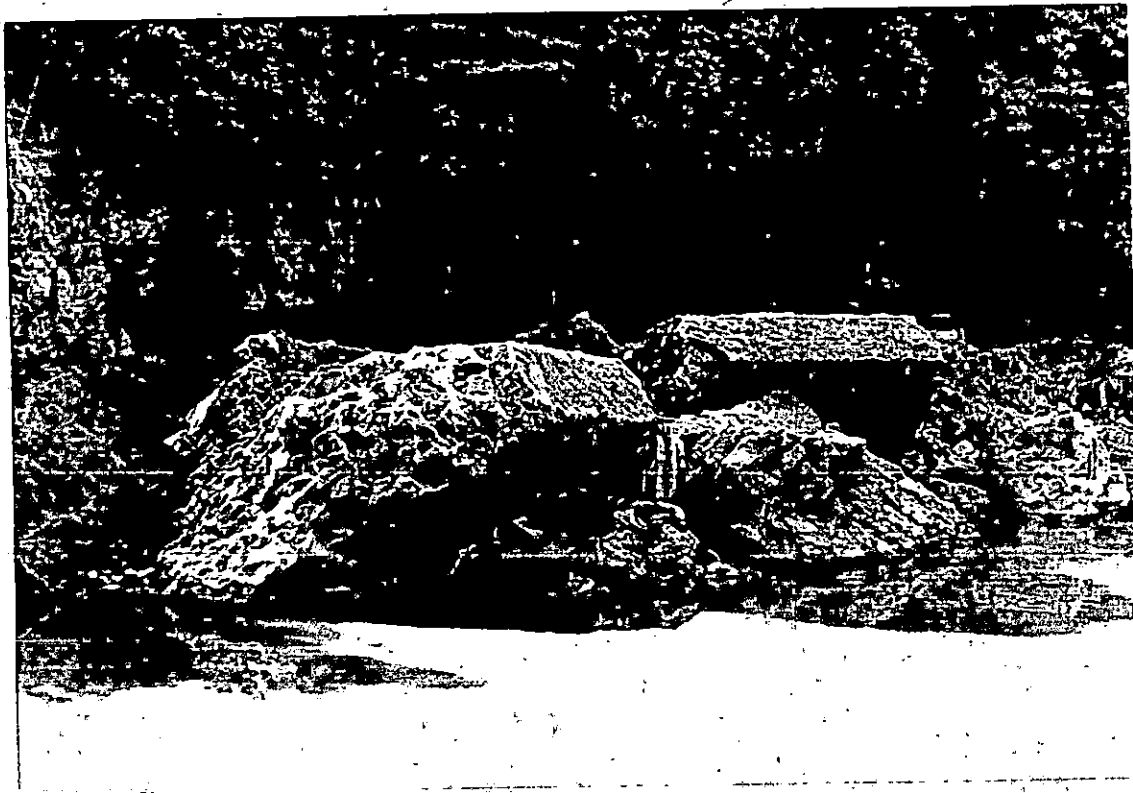


Foto 7.7 Muros volcados en el sector de estudio .



Foto 7.8 Zona de inundación en Comunidad El Granjero N° 1 .



Foto 7.9 Cubierta vegetal escasa en los taludes de la zona.



Foto 7.10 Depósito de ripio y basura en el río .

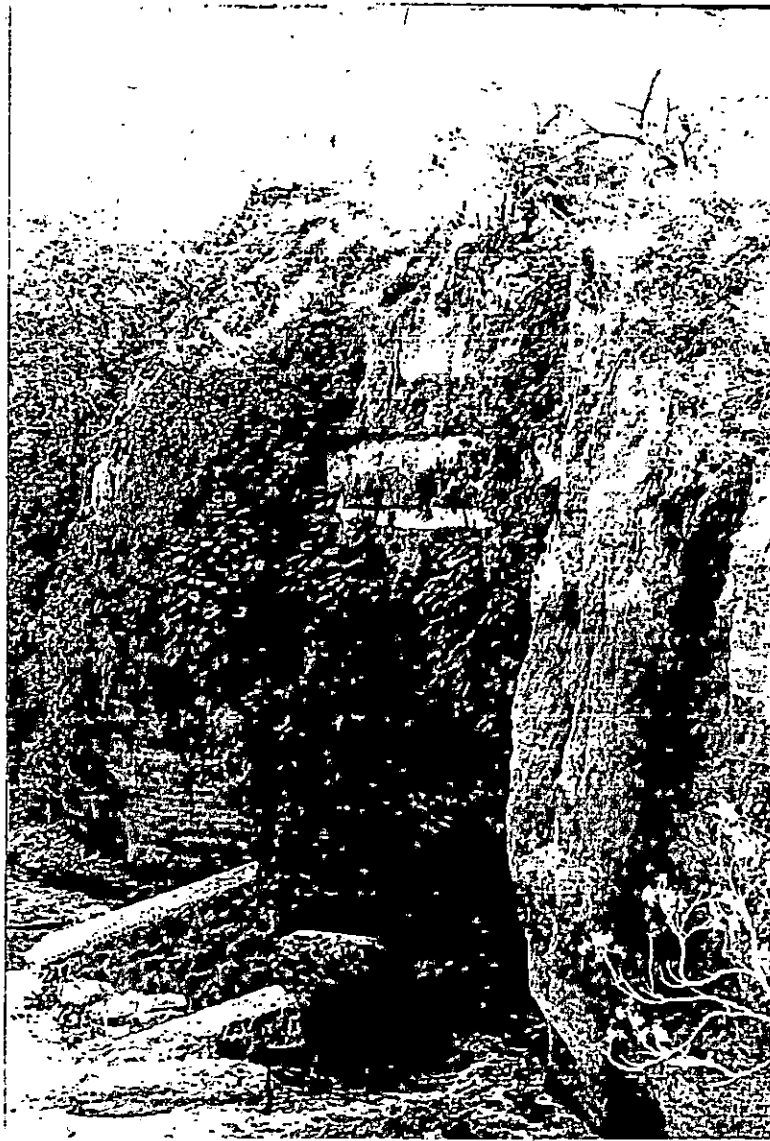


Foto 7.11 Configuración de talud de
Comunidad Francisco Morazán
Enero /91



**Foto 7.12 Configuración de talud de Comunidad
Francisco Morazán , Agosto /91
Notese el carcavamiento de que es objeto.**

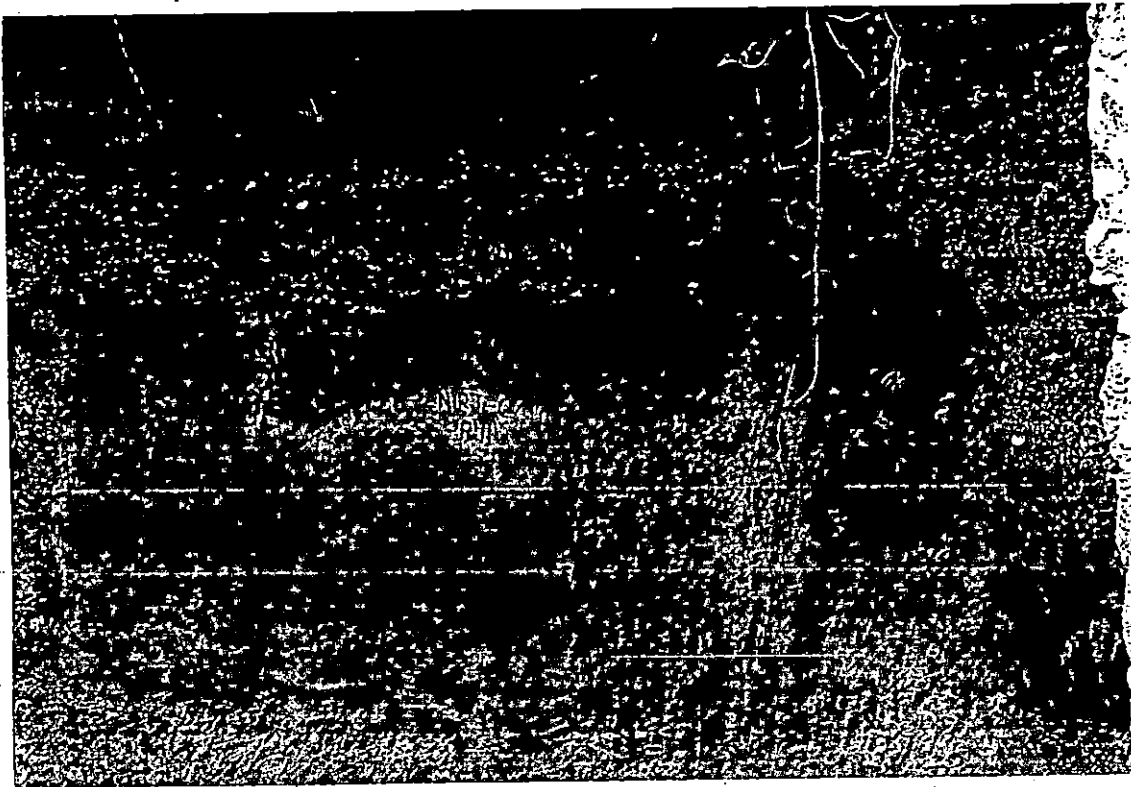


Foto 7.13 A la izquierda , malla revestida con mortero , a la derecha , lechada de cemento aplicada al talud . (1ª prueba) .

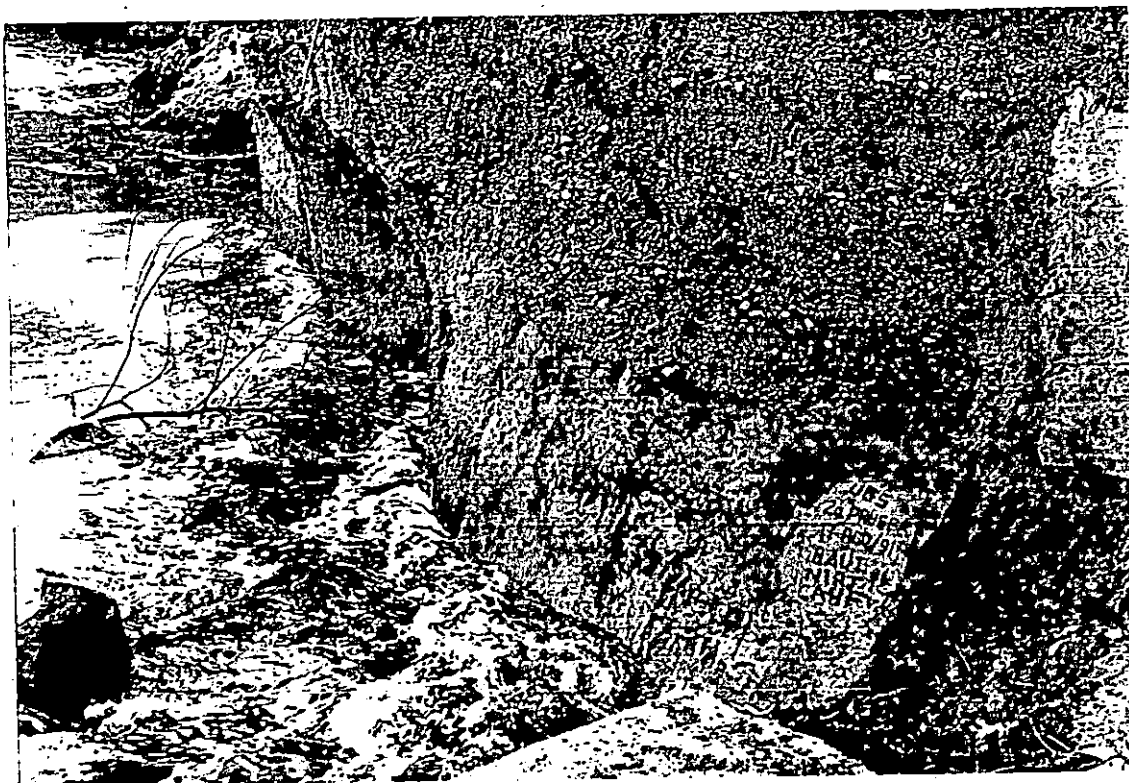


Foto 7.14 Malla revestida con mortero en contacto con las corrientes del río . (2ª prueba) .



Foto 7.15 . Socavación en la parte inferior de la malla revestida .
Actualmente el Incisado es de aproximadamente 0.50 m
hacia el interior del talud .

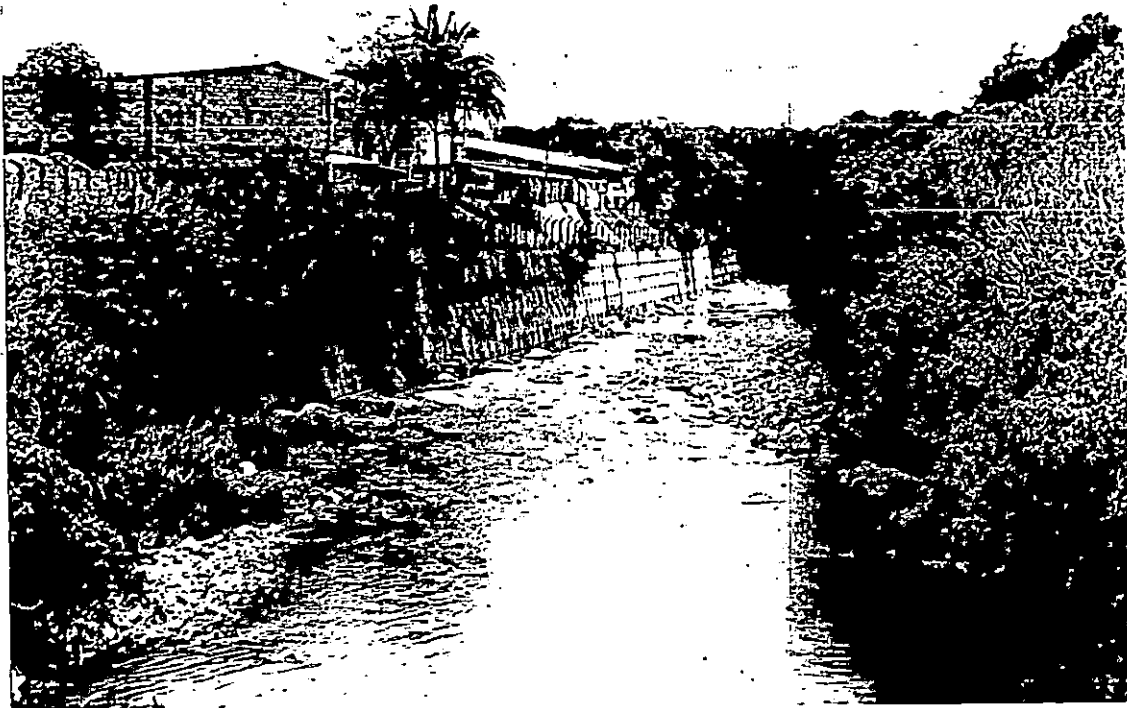


Foto 7.16 Muro de concreto armado al costado oriente de Industrias Eureka.