

*Revisar, Obue 2/92*

Marzo, 1992



INGENIERO CIVIL  
PARA OPTAR AL TITULO DE:

Ivan Guillermo Quijada Orellana  
Gabriel Edgardo Calderón Barahona  
Ricardo Antonio Andaluз Salazar  
15102075  
15102075

TRABAJO DE GRADUACION  
PRESENTADO POR:

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DE LA TEORIA  
DE DECISIONES A LOS DESASTRES NATURALES



Universidad de El Salvador  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

T-UES  
1504  
Q 62  
1992  
EJ-2

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
5800 S. UNIVERSITY AVENUE  
CHICAGO, ILLINOIS 60637

RECEIVED  
MAY 15 1964

TO THE DIRECTOR  
OF THE UNIVERSITY OF CHICAGO

FROM THE DEPARTMENT OF CHEMISTRY

CHICAGO, ILLINOIS

UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS



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

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:  
INGENIERO CIVIL

"CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DE LA TEORIA DE  
DECISIONES A LOS DESASTRES NATURALES"

Presentado Por: IVAN GUILLERMO QUIJADA ORELLANA  
GABRIEL EDGARDO CALDERON BARAHONA  
RICARDO ANTONIO ANDALUZ SALAZAR

Trabajo de Graduación aprobado por:  
Coordinador y Asesor: ING. JOSE MARIO SORTO  
Asesor: ING. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ

SAN SALVADOR, MARZO DE 1992

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



DIRECTOR:

ING. VICTOR MANUEL FIGUEROA MORAN

## AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

*Agradecemos la colaboración y orientación recibida durante el desarrollo del presente trabajo de graduación de parte del Coordinador y Asesor: ING. JOSE MARIO SORTO e ING. ROGELIO ERNESTO GODINEZ, respectivamente; ya que sin su ayuda y conocimientos no hubiéese sido posible este trabajo.*

*Asimismo, agradecemos a aquellas personas que en una u otra forma, colaboraron en la consolidación de esta investigación: Tomas Edward Merino, Mario Edgard Terezón y en especial a la Lic. María Dolores Chopín de Calderón por toda su colaboración desinteresada en la digitación de este documento.*

*También agradecemos a la Universidad de El Salvador y en especial a los docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por la formación recibida durante la carrera de Ingeniería Civil.*

*El Grupo.*

*DEDICATORIA*

*A MI QUERIDO PADRE: MANUEL ANTONIO QUIJADA, por su infinito apoyo, por haberme señalado el camino correcto a seguir, y por ser para mí, ejemplo de lucha y comprensión.*

*A MI QUERIDA MADRE: MARIA GRACIELA ORELLANA; por ser la mejor de todas las madres, por su apoyo incondicional en todo momento y por ser ejemplo de la mujer salvadoreña, luchadora y tenaz.*

*A MI ABUELITA: MARIA ROSITILIA ORELLANA (Q.E.P.D.); por haberme regalado durante su existencia todo su amor y cariño.*

*IVAN GUILLERMO*

## DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: por haberme permitido obtener este triunfo.

A MIS PADRES: Gabriel Calderón (Q.D.D.G.) y Deysi Barahona de Calderón, por haber sido mis primeros orientadores que con su incansable lucha en la vida, lograron conducirme hasta esta meta.

A MI QUERIDA ESPOSA, María Dolores, por su gran amor y comprensión desmedida, al apoyarme en cada momento para que fuese posible este logro.

A MI HIJA, Amalia Gabriela, por haberse convertido en la razón de mi esfuerzo y la alegría de mi hogar. Gracias por estar con nosotros.

A MIS HERMANOS, por su apoyo fraterno. Muy en especial a Ana María por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

A MIS AMIGOS ESPECIALES, que por falta de espacio no enumero pero que simbolizo en Don Chambita Alvarado, Don Salvador Cecilio y Don Ricardo Gil, por haberme enseñado la verdadera filosofía de la vida y haberme orientado por el camino correcto. Gracias a mi querido Movimiento de Alcohólicos Anónimos de la Línea del Dr. Ayala.

GABRIEL EDGARDO

## DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: porque sin su poder y su presencia en todo momento, no habría alcanzado mi meta.

A MI MADRE (Q.E.P.D.): que siempre está presente en mi vida y porque ella fomentó en mi el deseo de luchar y salir adelante en todos aquellos objetivos que me propusiera.

A MI PADRE: porque su cariño, sus consejos y su sacrificio en todo momento me ayudaron a terminar mi carrera.

A MI HERMANA (Morena): que nunca podré terminar de agradecerle todo su esfuerzo para que mis ideales fueran realidad.

A MI ESPOSA: porque su presencia en mi vida fomenta el deseo de superación y que gracias a su comprensión y al apoyo que me brinda, me permite compartir con ella el logro obtenido.

A MI HIJA: porque es la razón de mi lucha y su existir me hace seguir adelante para darle un buen futuro.

A OLGUI: que es como una madre y porque siempre me apoyó en el transcurso de mi carrera.

A MIS HERMANOS: Jorge, Rosario, Morena, Milton, Blanca, Juan, César, y Marvin porque siempre estuvieron a mi lado.

A MIS AMIGOS: porque me ayudaron a que este trabajo y mi carrera fuera una realidad.

RICARDO ANTONIO

## INDICE

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3

### CAPITULO I.

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 JUSTIFICACION	4
1.2 OBJETIVOS	5
1.3 ALCANCES	5
1.4 MARCO DE REFERENCIA	6
1.4.1 <i>Los Desastres Naturales en El Salvador</i>	6
1.4.1.1 <i>Antecedentes Históricos y Clasificación</i>	6
1.4.1.2 <i>Fenómenos Meteorológicos</i>	7
1.4.1.3 <i>Fenómenos Topológicos</i>	7
1.4.1.4 <i>Fenómenos Telúricos-Tectónicos</i>	9
1.4.2 <i>Causas que originan un Desastre Natural</i>	10
1.4.2.1 <i>Introducción</i>	10
1.4.2.2 <i>Condiciones Naturales</i>	10
1.4.2.2.1 <i>Ubicación Geográfica de El Salvador</i>	10
1.4.2.2.2 <i>Condiciones Climáticas</i>	11
1.4.2.2.3 <i>Condiciones Morfológicas</i>	12
1.4.2.2.4 <i>Condiciones Sísmicas</i>	14
1.4.2.2.5 <i>Condiciones Hidrográficas</i>	16
1.4.2.2.6 <i>Usos del Suelo y Vegetación</i>	17

1.4.2.3 <i>Condiciones Políticas, Sociales y Económicas</i>	18
1.4.2.3.1 <i>Introducción</i>	18
1.4.2.3.2 <i>Condiciones Demográficas</i>	18
1.4.2.3.3 <i>Migraciones Internas</i>	19
1.4.2.3.4 <i>Educación</i>	20
1.4.2.3.5 <i>Pobreza</i>	20
1.4.2.3.6 <i>Vivienda</i>	21
1.5 <i>PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS</i>	22
1.6 <i>METODOLOGIA</i>	23

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.0 <i>MARCO TEORICO</i>	25
2.1 <i>CRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES SEGUN CONDICIONES DE LA NATURALEZA</i>	25
2.1.1 <i>Criterios de Decisión bajo Condiciones de Incertidumbre</i>	25
2.1.2 <i>Criterios de Decisión bajo Condiciones de Riesgo</i>	26
2.1.3 <i>Criterios de Decisión en Condiciones de Incertidumbre</i>	27
2.1.3.1 <i>Criterio de Decisión Hurwicz</i>	28
2.1.3.2 <i>Criterio de Decisión Wald</i>	28
2.1.3.3 <i>Criterio de Decisión Savage</i>	29
2.1.3.4 <i>Criterio de Decisión Laplace</i>	29
2.2 <i>TIPOS DE PROBABILIDADES</i>	29
2.2.1 <i>Probabilidades Objetivas y Subjetivas</i>	30
2.2.2 <i>Probabilidades Objetivas</i>	31

2.2.2.1 Probabilidades Marginales	32
2.2.2.2 Probabilidades Conjuntas	32
2.2.2.3 Probabilidades Condicionales	33
2.2.3 Dependencia Estadística	33
2.2.3.1 Probabilidades Marginales	33
2.2.3.2 Probabilidades Condicionales	34
2.2.3.3 Probabilidades Conjuntas	34
2.3 LA TECNICA DEL ARBOL DE DECISIONES	35
2.3.1 Generalidades	35
2.3.2 Etapas para el Análisis de Problemas	36
2.3.2.1 Descripción del Problema	36
2.3.2.2 Período de Análisis	36
2.3.2.3 Objetivos	37
2.3.2.4 Criterios de Evaluación	37
2.3.2.5 Construcción del Arbol de Decisiones	37
2.3.3 Asignación de Probabilidades a los Nudos de Azar	38
2.3.4 Evaluación de los Puntos Terminales	38
2.3.5 Evaluación del Arbol de Decisiones	39
2.3.5.1 Métodos de Evaluación bajo el Criterio de EBC	39
2.3.5.1.1 Curvas de Preferencia	41
2.3.5.1.2 Forma de Construir Curvas de Preferencia	41
2.3.5.1.3 Evaluación Final del Arbol de Decisión	46
2.3.5.2 Método del VEM	47
2.4 EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LA APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES	49
2.4.1 Descripción del Problema	50

2.4.2	Período de Análisis	50
2.4.3	Objetivo	50
2.4.4	Criterios de Evaluación	50
2.4.5	Elaboración del Arbol de Decisiones	50
2.4.6	Evaluación de Costos	55
2.4.7	Asignación de Probabilidades	57
2.4.8	Evaluación Final	60
2.4.8.1	Equivalente Bajo Certeza (EBC)	60
2.4.8.2	Valor Esperado Monetario (VEM)	64
2.5	LA TEORIA DE DECISIONES Y LOS DESASTRES NATURALES	68
2.5.1	La Teoría de Decisiones y los Deslizamientos de Tierra	69
2.5.2	La Teoría de Decisiones y las Inundaciones	70

### CAPITULO III

#### APLICACION DE LA TEORIA DE LAS DECISIONES A LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

3.1	GENERALIDADES	72
3.2	ANTECEDENTES DEL CASO	73
3.2.1	Causas Naturales que indujeron al Evento	75
3.2.2	Causas Artificiales	80
3.3	APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL DESLIZAMIENTO DE TIERRA, OCURRIDO EN LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA EL NISPERO	81
3.3.1	Descripción del Problema	81
3.3.2	Objetivos de la Aplicación de la Teoría de Decisiones al Problema del Deslizamiento de Tierra en la Colonia Montebello	96
3.3.3	Criterios de Evaluación	96

3.3.4	Elaboración del Arbol de Decisiones sobre el Problema del Deslizamiento de Tierra en la Colonia Montebello	96
3.3.5	Evaluación de Costos para la Asignación de Flujos Parciales de Dinero. al Arbol de Decisiones.	104
3.3.6	Obtención de Probabilidades	106
3.3.7	Asignación de Probabilidades a los Nudos de Eventos en el Arbol de Decisiones	121
3.4	EVALUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES PARA OBTENER LA ESTRATEGIA OPTIMA	124

#### CAPITULO IV

##### APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES

4.1	GENERALIDADES	141
4.2	DESCRIPCION DE LA ZONA	144
4.3	ANTECEDENTES	150
4.4	APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL	156
4.4.1	Descripción del Problema	157
4.4.2	Objetivos de la Aplicación de la Teoría de Decisiones al Problema de las Inundaciones en la Cuenca del río Grande de San Miguel	175
4.4.3	Criterios de Evaluación	175
4.4.4	Elaboración del Arbol de Decisiones sobre el Problema de Nuevas Inundaciones en la Cuenca del río Grande de San Miguel	175
4.4.5	Evaluación de Costos para la Asignación de Flujos Parciales de Dinero al Arbol de Decisiones	183
4.4.6	Obtención de Probabilidades	196
4.4.6.3	Asignación de Probabilidades a los Nudos de Eventos en el Arbol de Decisiones	205

4.5 EVALUACION FINAL	211
----------------------	-----

## CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	228
5.2 RECOMENDACIONES	232
BIBLIOGRAFIA	234
ANEXO LISTA DE SIGLAS	236

## LISTA DE CUADROS

No.	CONTENIDO	Pág.
2.1	COSTO DE TUBERIA CIEGA	55
2.2	PROBABILIDADES SUBJETIVAS DE RESULTADO DE LA PRUEBA (POZO DE EXPLORACION)	57
2.3	PROBABILIDAD SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO EN LA ZONA	57
2.4	PROBABILIDAD SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO EN BASE A LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA	58
3.1	COSTO DE ESTRATEGIA No. 1	105
3.2	COSTO DE ESTRATEGIA No. 2	105
3.3	COSTO DE ESTRATEGIA No. 3	105
3.4	COSTO DE ESTRATEGIA No. 4	106
3.5	PERIODOS DE RETORNO DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA	109
3.6	PERIODOS DE TIEMPO Y PROBABILIDADES DE OCURRENCIA	111
3.7	MEDIANA DE LOS VALORES ASIGNADOS POR LOS EXPERTOS SOBRE EL PERIODO DE RETORNO	115
3.8	PROBABILIDADES DE QUE ESTUDIOS EN LA ZONA INDIQUEN LA OCURRENCIA DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA	118

3.9	PROBABILIDADES QUE OCURRA UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA CONSTRUYENDO OBRAS DE PROTECCION	119
3.10	PROBABILIDADES QUE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS RESISTAN EL IMPACTO DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA	121
3.11	PROBABILIDAD DE LOS ESTUDIOS INDIQUEN UN NUEVO DESLIZAMIENTO	122
3.12	PROBABILIDAD DE QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS, OCURRA UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA	123
3.13	PROBABILIDAD QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS, RESISTAN A UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA, EVITANDO EL IMPACTO	124
4.1	ESPACIAMIENTO DE BORDAS DE 1.5 MTS DE ALTURA, ASOCIADAS A DETERMINADO PERIODO DE RETORNO (TRAMO ARAMUACA-OLOMEGA)	167
4.2	ESPACIAMIENTO DE BORDAS DE 1.5 MTS DE ALTURA, ASOCIADAS A DETERMINADO PERIODO DE RETORNO (TRAMO EL DELIRIO-VADO MARIN)	168
4.3	ESPACIAMIENTO MINIMO DE BORDAS DE 1.0 MTS DE ALTURA, ASOCIADO A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (TRAMO VADO MARIN-LAS CONCHAS)	169
4.4	COSTO DE ESTRATEGIA No.1. REQUERIMIENTO DE EQUIPO PARA EL SISTEMA DE PREDICION PROPUESTO Y COSTOS UNITARIOS	185
4.5	COSTOS DE ESTRATEGIA No. 1. COSTOS ANUALES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO. COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA No. 1	186
4.6	COSTO DE ENTRATEGIA No. 2. COSTO UNITARIO DE BORDAS	187
4.7	COSTO DE ESTRATEGIA No.2. COSTO DE CONSTRUCCION DE BORDA POR PLANICIE DE INUNDACION	188
4.8	COSTO DE ESTRATEGIA No.2. COSTO DE BORDAS DE PROTECCION POR PLANICIE DE INUNDACION	188
4.9	COSTO TOTAL DE ESTRATEGIA No.2 ASOCIADO A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	189
4.10	COSTO DE ESTRATEGIA No. 3. COSTO DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE PRESA SAN ESTEBAN, ASOCIADO A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	190

4.11	COSTO DE ESTRATEGIA No. 3. COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA No. 3 ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	190
4.12	COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO DE RECTIFICACION Y DRAGADO DE CAUCE EN EL TRAMO ARAMUACA-OLOMEGA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	191
4.13	COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO DE PRESA EL DELIRIO	191
4.14	COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO TOTAL DE REPRESAMIENTO EL DELIRIO	192
4.15	COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO TOTAL DE ESTRATEGIA No. 4	192
4.16	PROBABILIDADES DE QUE LOS ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS EN LA CUENCA SENALEN LA OCURENCIA DE NUEVAS INUNDACIONES	202
4.17	PROBABILIDADES QUE OCURRAN NUEVAS INUNDACIONES IMPLEMENTANDO MEDIDAS DE PREVENCION	203
4.18	PROBABILIDADES QUE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS EVITEN EL IMPACTO DE NUEVAS INUNDACIONES (PARA $tr=5$ años, $tr= 25$ años, $tr= 50$ años)	204
4.19	PROBABILIDAD QUE ESTUDIOS DETALLADOS INDIQUEN NUEVAS INUNDACIONES	206
4.20	PROBABILIDAD QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS OCURRAN NUEVAS INUNDACIONES	206
4.21	PROBABILIDAD QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS Y OCURREN NUEVAS INUNDACIONES, ESTAS EVITEN EL IMPACTO	207

## LISTA DE FIGURAS

No.	CONTENIDO	Pág.
2.1	DIFERENTES CURVAS DE PREFERENCIA	41
2.2	CURVA DE PREFERENCIA CON AVERSION AL RIESGO	43
2.3	CURVA DE PREFERENCIA	45
2.4	EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES UTILIZANDO EL VEM	48

2.5	ESTRATEGIA OPTIMA	49
2.6	ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL PROBLEMA DE LA COMPRA DE LA TUBERIA CIEGA PARA UN POZO DE AGUA POTABLE	54
2.7	FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES	56
2.8	PROBABILIDADES PARA LOS NUDOS DE EVENTOS EN EL ARBOL DE DECISIONES	59
2.9	CURVA DE PREFERENCIAS	61
2.10	PROBABILIDADES Y PREFERENCIA EN EL ARBOL DE DECISIONES	63
2.11	EVALUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES, UTILIZANDO EL EBC	65
2.12	ESTRATEGIA OPTIMA	64
2.13	EVALUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES, UTILIZANDO EL VEM	67
2.14	ESTRATEGIA OPTIMA	68
3.1	FOTOGRAFIA AEREA DEL DESLIZAMIENTO DE TIERRA	76
3.2	MAPA TOPOGRAFICO DE LA FALDA ORIENTAL DEL VOLCAN DE SAN SALVADOR, INDICANDO LOCALIZACION DE ZONA AFECTADA POR LA AVALANCHA DEL 19/SEP/92	77
3.3	AREA AFECTADA POR EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA	78
3.4	DIQUES DE CONSOLIDACION	84
3.5	MURO DE RETENCION DE CONCRETO	85
3.6	UBICACION DE CANAL ABIERTO DE CONCRETO	86
3.7	GAVION PRINCIPAL SECTOR NORTE	88
3.8	GAVIONES DE CONSOLIDACION Y PALOS PIQUES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS	90
3.9	DIQUES LONGITUDINALES AL CAUCE DE LA QUEBRADA EL NISPERO	94
3.10	DRENAJES TIPO FRANCES	95

3.11	ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN COLONIA MONTEBELLO	103
3.12	FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES	107
3.13	CURVA DE PROBABILIDAD (ING. GODINEZ)	112
3.14	CURVA DE PROBABILIDADES (LIC. AGUILAR)	113
3.15	CURVA DE PROBABILIDADES (ING. MELARA)	113
3.16	CURVA DE PROBABILIDADES (ING. GUZMAN URBINA)	114
3.17	CURVA RESULTANTE DE PROBABILIDADES	115
3.18	PROBABILIDADES PARA LOS NUDOS DE EVENTOS EN EL ARBOL DE DECISIONES	125
3.19	CURVA DE PREFERENCIA	129
3.20	PROBABILIDADES Y PREFERENCIAS EN EL ARBOL DE DECISIONES	134
3.21	PREFERENCIAS PARA LOS NUDOS DE EVENTO	136
3.22	PREFERENCIAS EN LOS NUDOS DE DECISION	138
3.23	PREFERENCIA EN EL NUDO DE DECISION INICIAL	137
3.24	RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES	139
3.25	ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN $tr=50$ años	140
4.1	MAPA DE EL SALVADOR MOSTRANDO LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL	145
4.2	ELEVACIONES DE LA CUENCA Y DIVISORIA DE LAS CUENCAS ALTA, MEDIA Y BAJA	147
4.3	PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL	149
4.4	SUELOS HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL	151
4.5	PLANICIE INUNDABLE OLOMEGA	153
4.6	PLANICIE INUNDABLE EL JOCOTAL	154
4.7	PLANICIE INUNDABLE MOROPALA	155

4.8	ORDENAMIENTO ESPACIAL DE PLANICIES INUNDABLES	160
4.9	SISTEMA DE TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL (TRANSMISION POR RADIO)	162
4.10	SISTEMA DE TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL (TRANSMISION POR SATELITE)	163
4.11	DIAGRAMA DE PLATAFORMA COLECTORA DE DATOS	164
4.12	SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE PREDICION	165
4.13	PLANO DE UBICACION DE SECCIONES TRANSVERSALES Y OBRAS DE PREVENCION	170
4.14	PLANO DE UBICACION PRESA SAN ESTEBAN	172
4.15	REPRESAMIENTO EL DELIRIO, SECCION TRANSVERSAL	174
4.16	ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES	182
4.17	FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 ANOS	193
4.18	FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES PARA UN $tr= 25$ años	194
4.19	FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES PARA UN $tr= 50$ años	195
4.20	CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MAXIMAS ANUALES	199
4.21	PROBABILIDADES EN LOS NUDOS DE EVENTO PARA UN $tr= 5$ años	208
4.22	PROBABILIDADES EN LOS NUDOS DE EVENTO PARA UN $tr= 25$ años	209
4.23	PROBABILIDADES EN LOS NUDOS DE EVENTO PARA UN $tr= 50$ años	210
4.24	CURVA DE PREFERENCIA	214
4.25	PROBABILIDADES Y PREFERENCIAS EN EL ARBOL DE DECISIONES PARA UN $tr=50$ años	217
4.26	PREFERENCIA ESPERADA, LOS NUDOS DE EVENTOS	219
4.27	PREFERENCIAS EN LOS NUDOS DE DECISION	221

4.28	PREFERENCIA EN EL NUDO DE DECISION INICIAL	222
4.29	RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES PARA UN $tr= 50$ años	223
4.30	ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN $tr= 50$ años	224
4.31	RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES PARA UN $tr= 5$ años	225
4.32	ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN $tr= 5$ años	226
4.33	RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES PARA UN $tr= 25$ años	227
4.34	ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN $tr= 25$ años	226

## RESUMEN

*El desarrollo del presente trabajo de graduación sobre la Aplicación de la Teoría de Decisiones al caso de los Desastres Naturales, inicia con el análisis de las características físicas y condiciones políticas, sociales y económicas del país que contribuyen para que estos desastres se presenten con frecuencia en El Salvador y que hacen vulnerable a la mayoría de población.*

*Los fundamentos de la teoría de decisiones se aplican a la perspectiva preventiva de los desastres naturales.*

*La aplicación de esta teoría en el presente estudio, es para los ejemplos de deslizamientos de tierra e inundaciones, específicamente para el caso del deslizamiento de tierra ocurrido en septiembre de 1982 en la Colonia Montebello, y para el caso de las constantes inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.*

*Dicha aplicación se realiza utilizando la técnica del árbol de decisiones, en el que se muestran las diferentes estrategias que el decisor puede seguir para dar la mejor solución a ambos casos.*

*Después de la evaluación del Arbol de Decisiones para el problema de un nuevo deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, se obtuvo que la estrategia óptima a implementar para disminuir el riesgo de que en el futuro este desastre se repita, es la siguiente: implementar urgentemente un plan de reforestación en la subcuenca de la quebrada El Níspero, construcción de diques de consolidación gavionados en la cabecera del deslizamiento, sembrar palos piques, hacer terrazas tipo bancales, obras de drenaje tanto para la quebrada de recepción como para el camino de tierra, y también sellar todas las grietas que persistean del deslizamiento ocurrido en esa fecha.*

Para el caso de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, la estrategia óptima a implementar que se obtuvo después de la evaluación del árbol de decisiones para disminuir el riesgo de que en el futuro dichas inundaciones se presenten es la siguiente: rectificar y dragar el cauce principal en el tramo Laguna de Aramuaca-Laguna de Olomega, aumentando la capacidad de la sección hidráulica en este tramo, evitando así el desbordamiento del río hacia la planicie; por otra parte, se debe hacer un represamiento del río a la altura de El Delirio (1300 mts. aguas abajo del puente El Delirio) para controlar las inundaciones en este tramo (El Delirio, Vado Marin y las Cónchas).

Por lo que, con estos dos casos queda demostrada la aplicación de la Teoría de Decisiones a los desastres naturales, de donde se concluye que dicha teoría es aplicable a cualquier tipo de desastre natural, por lo que se recomienda su aplicación en el estudio de otros casos sufridos comúnmente en El Salvador, tales como los terremotos.

## INTRODUCCION

*El Salvador por sus características físicas y sus condiciones políticas, sociales y económicas es un país expuesto a eventuales desastres naturales, lo que hace necesario buscar estrategias efectivas en la búsqueda de soluciones a este tipo de desastres.*

*En este sentido, en el presente trabajo se ha realizado una investigación sobre la aplicación de la Teoría de Decisiones al caso de los desastres naturales, específicamente a los casos de inundaciones y deslizamientos de tierra; la cual se ha desarrollado a través de cinco capítulos en los cuales se deja plasmada la metodología seguida.*

*En el Capítulo I se hace un análisis de las características físicas del país, que influyen para que ocurran con frecuencia ciertos fenómenos naturales, así como también un estudio de las condiciones políticas, sociales y económicas que favorecen para que tales fenómenos se conviertan con extrema facilidad en desastres naturales.*

*El Capítulo II contiene el Marco Teórico Conceptual, es decir, las bases o el fundamento de la Teoría de Decisiones, su metodología y formas de aplicación.*

*En el tercero y cuarto capítulo se desarrolla la aplicación de la Teoría de Decisiones al problema de la nueva ocurrencia de un deslizamiento de tierra en la zona de la Colonia Montebello, y al problema de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, respectivamente; obteniendo para ambos casos soluciones concretas para disminuir el riesgo de que estos desastres se presenten en el futuro.*

*El quinto capítulo contiene conclusiones sobre la aplicación de esta teoría, así como una serie de recomendaciones sobre la misma.*

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 JUSTIFICACION

*Históricamente los pueblos subdesarrollados han sido afectados con frecuencia por desastres naturales, fenómenos observados en países tanto del Africa y Asia así como de América Latina. El Salvador no es la excepción en este caso, ya que estas catástrofes han ocurrido, como lo demuestran los terremotos del 3 de mayo de 1965, el 10 de octubre de 1986, inundaciones por el desbordamiento del río Grande de San Miguel y deslizamiento de tierra como el de la Colonia Montebello, provocados por eventos meteorológicos de gran magnitud. Para citar ejemplos más recientes. Además existe un alto riesgo de que estos fenómenos se repitan en el futuro.*

*Estos casos de desastre, provocan pérdidas de vidas humanas como materiales, afectando grandemente el desarrollo del país, situación que es el reflejo de dos contextos: uno físico o natural y el humano o social. (3).*

*En lo natural, los mismos contextos físicos (geológicos, geomorfológicos, climatológicos) predisponen a desastres naturales.*

*En lo social, el poco desarrollo existente hace que un determinado fenómeno natural se convierta en un desastre.*

*A pesar de que ambos se presentan con mucha frecuencia, no se han realizado estudios en el país, enfocados en la perspectiva preventiva sobre los desastres naturales; y no existe un proceso que tome en cuenta aspectos técnicos, económicos y sociales para el estudio de estos problemas y así orientar al tomador o tomadores de decisiones ante un desastre natural.*

*Dentro de este marco de necesidades es justificable desarrollar la investigación sobre la aplicación de la teoría de decisiones, enfocados a la*

prevención y mitigación de los desastres naturales, aportando modelos tipos, mostrados en un árbol de decisiones; tratando así, que la investigación realizada ayude al tomador de decisiones a vislumbrar y valorar las diferentes estrategias a seguir ante un desastre.

En este sentido, la toma de decisión que se haga auxiliándose del modelo propuesto, se convierte en la herramienta básica, ya que a través de esta decisión se estará definiendo la estrategia a seguir, tomando en cuenta ventajas y desventajas, para dar la mejor solución ante un evento de esta naturaleza.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

- Estudiar la aplicación de la teoría de decisiones al caso de los desastres naturales del país; para contribuir a la búsqueda de soluciones apropiadas, en beneficio de la sociedad.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Por medio de la teoría de decisiones, crear modelos tipos para los casos de inundaciones y deslizamientos de tierra, mostrados en un árbol de decisiones, tomando el caso de río Grande de San Miguel y el deslizamiento de tierra de la Colonia Montebello, respectivamente.

- Proporcionar una herramienta que sirva a los tomadores de decisiones; adecuándola como búsqueda de solución a los problemas de inundaciones y deslizamientos de tierra, aplicada a los casos citados en el objetivo anterior.

## 1.3 ALCANCES

Se realizará una investigación de los desastres naturales en El Salvador y la forma cómo dichos desastres afectan a la población, así como las consecuencias

que de ellos se derivan.

La investigación establecerá la aplicación de la teoría de decisiones a dos casos de desastres naturales, para que pueda aplicarse a otros que constituyen tal tipificación.

Se determinarán las variables de ocurrencia que tienen incidencia para que tenga lugar, un desastre natural, las cuales permitirán generar un árbol de decisión.

El trabajo se limitará a generar modelos tipos que sean aplicables al país, para los casos de inundaciones y deslizamientos de tierra, los que permitirán una mejor visión de las distintas estrategias, al momento de tomar una decisión.

#### 1.4 MARCO DE REFERENCIA

##### 1.4.1 Los Desastres Naturales en EL Salvador

##### 1.4.1.1 Antecedentes Históricos y Clasificación

A través de la historia se puede verificar que la humanidad ha sufrido los efectos destructivos de los fenómenos naturales y ha soportado grandes desastres y calamidades públicas, tales como: terremotos, inundaciones, huracanes, erupciones volcánicas, sequías, incendios, deslizamientos de tierra, etc.

El Salvador se ha visto afectado por estos fenómenos en innumerables ocasiones, los cuales por su magnitud e impacto, han causado enormes daños al país.

Estos daños se han traducido en pérdidas de vidas humanas, deterioro de la economía, así como trastornos sociales y políticos.

Los principales eventos naturales que se han considerado como desastres, registrados por la historia de El Salvador, se pueden enmarcar según su origen, dentro de la siguiente clasificación: Meteorológicos, Topológicos y Telúricos-

Tectónicos. A continuación se definen resumidamente cada uno de estos grandes grupos.

1.4.1.2 Fenómenos Metereológicos

Estos fenómenos consisten en alteraciones en el orden climático, que de acuerdo a su magnitud pueden llegar a convertirse en desastres. Entre los principales tenemos: tormentas (huracanes, tornados y ciclones), ondas frías, ondas cálidas, sequías, marejadas, etc.

Entre los eventos importantes de este tipo ocurridos en El Salvador, se pueden mencionar los siguientes:

- Temporal azota todo el país (21-06-1923)
- Lluvias torrenciales, ocasionan el desbordamiento del río Paz (09-07-1923).
- Tormenta de gran intensidad azota la ciudad capital (02-06-1926).
- Temporal ocasiona graves daños a la economía del país (08-08-1927).
- Temporal de 12 días causa víctimas y pánico en Santa Ana y Tecoluca (26-06-1932).
- Daños de consideración por temporal en el país (06-10-1950).
- Fuerte temporal causa muertos y heridos (16-05-1958).
- Lluvias atemporaladas causan daños en la capital (14-09-1959).
- Lluvias atemporaladas, debido al huracán FIFI, ocasionan daños en todo el país (1975).

FUENTE: Libro de Oro de los Hermanos Dutriz.

1.4.1.3 Fenómenos Topológicos

Estos fenómenos ocurren con mayor frecuencia durante las épocas lluviosas, especialmente en períodos atemporalados en lugares montañosos con

fuertes pendiente e inestabilidades geológicas, lo que acentúa la causas para que se produzca tal fenómeno.

Entre los eventos de esta naturaleza más sobresalientes, se pueden mencionar: inundaciones, aludes, derrumbes, etc.

El Salvador se ha visto afectado regularmente por estos fenómenos topológicos; entre los principales registrados por la historia del país se pueden mencionar:

- Inundaciones debido al desbordamiento de varios ríos, en la zona oriental (29-05-1915).
- Avalancha de lodo y agua del volcán de San Vicente, inundando Tepetitán (19-06-1918).
- Inundación de los barrios bajos de la ciudad capital (02-06-1926).
- Correntadas bajan del volcán de San Miguel, el río Grande se desborda destruyendo obras de protección en Puerto Parada (1929).
- Ozatlán y otras poblaciones de Usulután, sufren una terrible inundación (05-10-1945).
- Inundación de la ciudad de San Miguel (30-09-1955).
- En el departamento de La Unión el río Bananera se desborda y causa inundaciones (03-07-1962).
- Desbordamiento del río Lempa causa inundaciones. (02-10-1962).
- Inundaciones en todo el territorio nacional, provocadas por el huracán FIFI (1975).
- Desbordamientos anuales del río Grande de San Miguel.
- Alud y crecida torrencial destruye la Colonia Montebello, en San Salvador (septiembre 1982).

FUENTE: Libro de Oro de los Hermanos Dutriz.

#### 1.4.1.4 Fenómenos Telúricos-Tectónicos

Conocidos como terremotos; son movimientos bruscos de la corteza terrestre, producidos por explosiones en las profundidades de la tierra (plutónicos), por la actividad de volcanes (volcánicos) o por deslizamientos de las capas de la corteza terrestre a lo largo de fallas (tectónicas).

El Salvador se ha visto afectado por estos fenómenos en innumerables oportunidades, los que han desequilibrado la vida normal del país, entre los principales que registra la historia se pueden mencionar:

- Erupción del volcán de San Salvador, arrojando magma al lugar que hoy es llamado MALPAIS (1659).
- Violento terremoto en Izalco, Sonsonate y Santa Ana (1733).
- Erupción del volcán de Izalco (1770).
- Destrucción de gran parte de la ciudad de San Vicente (1733).
- Violento terremoto en San Salvador (1815).
- Ruina casi completa de la ciudad capital y sus alrededores (1839).
- Erupción del volcán de San Miguel (24-07-1844).
- Destrucción completa de la ciudad de San Salvador (14-07-1854).
- Nueva destrucción de la capital y en especial de Atiquizaya (8-12-1859).
- Terremoto en San Salvador (1918).
- Terremoto devastador en las ciudades de Chinameca, Lolotique, San Buenaventura, Berlín, Jucuapa, Santiago de María (7-05-1951).
- Terremoto en la ciudad de San Salvador (3-5-1965).
- Terremoto devastador en la ciudad de San Salvador (10-10-1986).

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.).

## *1.4.2 Causas que originan un desastre natural.*

### *1.4.2.1 Introducción*

*En el origen de los desastres naturales siempre existe un evento de tipo físico, hecho que permite construir clasificaciones fundamentadas en lo físico en sí. Sin embargo, el desastre es inevitablemente un producto social, donde el fenómeno físico no determina necesariamente el resultado. (3)*

*En El Salvador, las características físicas y sociales se interrelacionan aumentando la vulnerabilidad para que un evento natural se convierta en desastre. Esta interrelación entre lo natural y lo social, hace necesario reconocer para efectos de clasificación, que estos dos contextos se consideren conjuntamente, de tal manera, que el conocimiento sobre la intensidad, distribución temporal y espacial, y predecibilidad o no de los eventos naturales, sean conjugados con información sobre las estructuras económicas, sociales, organizaciones, etc, de la sociedad.*

*En este sentido, se presentan una serie de condicionantes naturales y sociales del país, que al interrelacionarse contribuyen a que aumente la probabilidad de que ocurra un desastre natural.*

### *1.4.2.2 Condiciones Naturales*

#### *1.4.2.2.1 Ubicación Geográfica de El Salvador.*

*El Salvador es un país localizado en América Central, entre los paralelos 13°g' y 14°27' de latitud Norte y meridianos 87°4' y 90°8' longitud Oeste.*

*La localización astronómica indica, que el país se encuentra inmerso en la región tropical exterior, donde es alcanzado por los ramales de los vientos Alisios de rumbo E a NE.*

Al Norte limita con Honduras, al Oeste con Guatemala, al Este con Nicaragua y al Sur con el Océano Pacífico. Dos características en relación con la situación geográfica vale la pena destacar: no tiene Costa en el Océano Atlántico, y al Sur, en el Pacífico no se encuentra frente a él, ninguna tierra hasta llegar a la Antártida.

La superficie es de 21,000.00 Km<sup>2</sup>, sus paisajes naturales pueden perfectamente distinguirse por las condiciones climáticas, geológicas, morfológicas y antropológicas. Al sur por ejemplo, y a lo largo de la costa, se encuentran las planicies costeras, separadas por las Sierras del Bálsamo y la de Jucuarán. En una franja paralela Este-Oeste, se encuentra la cadena volcánica reciente y el graben central, que integran dos complejos diferentes uno de valles interiores dispersos y otro de montañas y cerros. (15).

#### 1.4.2.2.2 Condiciones Climáticas

El Salvador está situado en la parte exterior del cinturón climático de los trópicos, donde, durante todo el año existen condiciones térmicas más o menos iguales. (14)

El régimen de precipitaciones depende principalmente de los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical, a lo largo de la cual se encuentran las corrientes de vientos alisios; los que se desplazan hacia el Norte durante el verano y hacia el Sur en el invierno; a su paso por El Salvador, que ocurre aproximadamente entre junio y septiembre, se producen las mayores precipitaciones; se define así una estación de lluvias, "invierno", comprendida de mayo a octubre, y una estación seca, "verano", de noviembre a abril. Durante la época lluviosa, ocurren dos picos de precipitaciones, separados (junio-julio y septiembre-octubre) por un receso en agosto.

*Las lluvias del primer pico, son por lo general convectivas e intensas, aunque de corta duración y cubriendo áreas localizadas. Las del segundo pico, son influenciadas por los ciclones tropicales y las lluvias, aunque éstas son de menor intensidad que las primeras, mantienen dicha intensidad durante períodos más largos, cubriendo grandes extensiones.*

*Las grandes cantidades de precipitaciones son las causantes del desbordamiento de los ríos, con las consecuentes inundaciones que afectan principalmente toda la zona costera del país. (2)*

*Este tipo de eventos meteorológicos (lluvias torrenciales) son las responsables de inundaciones, deslizamientos de tierra, erosión, azolvamientos, etc., y las repercusiones dañinas en vidas humanas e infraestructura.*

#### *1.4.2.2.3 Condiciones Morfológicas*

*Es necesario tener en cuenta la topografía de todo el territorio nacional, ya que la conjunción de estos factores, proporciona una mejor visualización del problema relacionado con las inundaciones; por lo cual se presenta una distribución geográfica de los suelos reconocidos de El Salvador, los cuales se clasifican en:*

##### *Región No. 1:*

*Comprende la cordillera norte, compuesta de altas montañas fuertemente diseccionadas y con graves problemas de erosión. Las rocas son de origen volcánico, de las más antiguas del país y de fuerte influencia hidrotermal, cuyo límite inferior es la cota aproximadamente 500 m.s.m.m. y el superior la cota más alta del país de 2730 m.s.m.m. en el cerro El Pital.*

##### *Región No. 2:*

*Está comprendida por el complejo de valles, interiores dispersos, complejo interior*

de montañas antiguas. El complejo de valles interiores dispersos, como su nombre lo indica, son por lo general valle antiguos, muchos de ellos de origen lacustre o lacustre fluvial, como el valle de Candelaria de la Frontera, Nueva Concepción-El Paraíso, el de San Ildefonso-Villa Dolores, etc., cuya topografía es de plana a ligeramente inclinada diseccionada por algunas quebradas y ríos, cuyos materiales fueron transportados y depositados en aguas tranquilas o por inundaciones de alguna corriente fluvial.

*Región No. 3:*

Esta formada por la fosa central y la cadena volcánica reciente, el primer gran paisaje o fosa central o graben, en un fenómeno geológico de un bloque hundido entre sendos farallones de fallas que lo delimitan al Norte, por farallones no muy precisos, como son las montañas al Norte del valle de San Andrés, o el farallón donde corre el tramo antiguo de la carretera Panamericana al Norte del Valle Jiboa; al Sur se puede apreciar el farallón de Loma Larga, que delimita el valle de las hamacas y su continuación al Oeste, que consiste en el farallón en el extremo Norte de la cordillera del Bálsamo.

La topografía de la fosa central está formada por valles ondulados, a veces fuertemente diseccionados o valles planos ligeramente inclinados, como son el valle de San Isidro, el de San Andrés, el de las Hamacas, el del río Jiboa, el de San Miguel, etc., con materiales predominantes de piroclastos y epiclastos o sean cenizas volcánicas.

La cadena volcánica reciente la constituye lo que se conoce como cinturón volcánico, compuesto de grupos o macizos volcánicos, algunos de ellos todavía activos, como el Izalco, Santa Ana, San Miguel, etc.; la topografía es de fuerte pendiente.

*Región No. 4:*

Está formado por las planicies costeras y las montañas costeras. Las planicies costeras la constituyen las áreas planas a la orilla y paralelas al mar que se extienden desde el río Paz hasta el río Goascorán en una faja de 5 a 20 Km<sup>2</sup> de ancho, interrumpido en trechos por los macizos montañosos costeros del Bálsamo y Jucuarán, Volcán de Conchagua y pequeñas cerranías cerca de la población de Pasaquina.

Los estratos inferiores están constituidos por materiales de origen aluvial, llevados por los ríos o grandes avalanchas lodosas arrastradas por quebradas que bajan a las planicies, desde las montañas adyacentes del interior. (9)

#### 1.4.2.2.4 Condiciones Sísmicas

##### 1.4.2.2.4.1 Tectonismo

De acuerdo a la teoría tectónica de placas de la corteza terrestre, los movimientos tectónicos en El Salvador, son principalmente consecuencia del movimiento hacia el NE de la placa de Coco con respecto a la placa del Caribe. (12)

La rapidez relativa de los movimientos de las placas del Caribe y las adyacentes son: Cocos-Caribe, 7.47 cm/año NNE; Norte América-Caribe 2.08 cm/año OSO y Cocos-Norte América, 9.01 cm/año NNE. (12)

Este movimiento produce una zona en la que la placa de Cocos se introduce bajo la placa del Caribe, y es conocida como Zona de Subducción.

Además de los sismos originados en esta zona de subducción, El Salvador se ve afectado también por los efectos de los movimientos que se originan en la Frontera de las placas de Norte América y el Caribe y que definen el sistema de fallas conocido como la falla de Motagua.

En este sentido, el país puede considerarse como un área de intersección

de dos sistemas de fallas, un sistema Nor-Oeste, Sur-Este, asociado con la falla del Motagua y su sistema subordinado Nor-Este, Sur-Este y un sistema Este-Oeste, que se considera una continuación de la depresión de Nicaragua y que tiene un sistema Norte-Sur como subordinado.

El sistema Este-Oeste constituye el graben central que atraviesa todo el país y que determina en su parte hundida, regiones topográficas de gran importancia como son el valle de Zapotitán al occidente, el valle de las hamacas en el centro y el valle del Jiboa en oriente.

El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas se desconoce, pero se cree que es debido a corrientes de convección o movimientos del manto de la tierra.

Una mayor cantidad de temblores ocurren a lo largo de las orillas de intersección de las placas, de lo que se concluye que las fuerzas tectónicas que producen montañas, valles, cordilleras midoceánicas y fosas oceánicas, son también las causantes de los grandes terremotos llamados tectónicos. (12)

#### 1.4.2.2.4.2 Vulcanismo

El frente volcánico de El Salvador constituye uno de los ocho segmentos en que se encuentra dividida la cadena volcánica centroamericana, coincidiendo los límites de este segmento con los centros volcánicos de Apaneca al Oeste y Conchagua al Este, en los extremos del país. La segmentación volcánica en Centroamérica se debe a los cambios de rumbo que tienen la zona de subducción la cual es aproximadamente paralela a la línea costera.

En El Salvador existen nueve centros eruptivos principales: Apaneca, Santa Ana, Izalco, Coatepeque, Boquerón, Ilopango, San Vicente, Tecapa, San Miguel, Chonchagua y Golfo de Fonseca. De estos los que han presentado mayor

actividad histórica son: Santa Ana, Izalco, Boquerón, Ilopango y San Miguel.

El boquerón es la parte más joven del viejo volcán de San Salvador o Quezaltepeque, el cual tuvo un colapso de caldera dentro de la cual se formó y creció el nuevo volcán hasta llenar casi completamente la caldera. El Picacho constituye un resto del antiguo volcán. Evidencias de este proceso se han encontrado al hacer un estudio fotogeológico del área y mediante el estudio de la variación en composición química de las lavas del volcán. (12)

El lago de Ilopango por otra parte, es una caldera de colapso cuya última erupción ocurrió en 1880, cuando se formaron los Cerros Quemados. El cerro de San Jacinto parece ser parte del sistema volcánico de Ilopango. (12)

Al considerar la sismicidad del país, se encuentra, que es el frente volcánico, el área que representa mayor riesgo sísmico. Esto se debe a que los sismos en esta zona tienen generalmente una profundidad menor que 20 KMS, por lo tanto el cono de destrucción es reducido afectando un área limitada, aunque esto último depende de la magnitud del sismo.

Los sismos destructivos en esta zona tienen generalmente una magnitud moderada entre 4 y 7 grados en la escala de Richter. (12)

#### 1.4.2.2.5 Condiciones Hidrográficas

En El Salvador existen 360 ríos en su mayoría cortos y torrentosos, la mayor parte de pequeño caudal, inferior a un metro cúbico por segundo. Los ríos más caudalosos son de flujo permanente, aunque con variaciones estacionales importantes en su caudal.

El país se ha dividido en diez cuencas o agrupaciones de cuencas hidrográficas principales: a) Río Lempa; b) Río Paz; c) entre los ríos Paz y Sonsonate; d) Ríos Bandera; Sensunapán y San Pedro; e) entre ríos Pululuga y

Comalapa; f) Río Jiboa; g) entre río Jiboa y el Lempa; h) entre los ríos Lempa y Grande de San Miguel; i) Río Grande de San Miguel y j) Río Guascorán y otros.  
(13)

Son cuencas internacionales la del río Lempa que corresponde a Guatemala, Honduras y El Salvador; la del río Paz compartida con Guatemala, Honduras y El Salvador; la del río Paz compartida con Guatemala, y la del Goascorán con Honduras.

El río Lempa es el de mayor importancia, su cuenca internacional tiene un área de 18,240 Km<sup>2</sup>, compartida por El Salvador, Guatemala, Honduras; correspondiendo al país 10,255 Km<sup>2</sup>, es decir, el 48.6% del territorio nacional. (13)

#### 1.4.2.2.6 Usos del Suelo y Vegetación.

El Salvador tiene una larga historia de explotación excesiva de sus recursos naturales que se remonta a los primeros años de la época colonial (años 1500). La introducción de razas europeas de ganado y la consiguiente quema y desmonte de bosques para dedicarlos a pastos, el cultivo excesivo del añil, planta que incluía un ciclo de desmonte, quema y la demanda de madera para diferentes actividades, había destruido ya en el año de 1800 gran parte de los bosques en El Salvador, a pesar de que en aquella época la densidad de población era baja. En este siglo, el campesino se vio obligado a dirigirse a parajes montañosos más altos, que nunca debieron ser cultivados permanentemente. Además, la misma expansión de cultivos comerciales, redujo en grado considerable la superficie cubierta de bosques. Para el año de 1990 únicamente un 10% de El Salvador tenía bosques en plena madurez.

En el siglo actual las pocas áreas que quedan cubiertas de bosques han disminuido continuamente por el crecimiento acelerado de la población y por

consiguiente mayor demanda de tierras agrícolas, urbanizaciones, etc.

Los bosques originales han sido casi totalmente destruidos hay reducidas zonas de bosques secundarios degradados e improductivos, diseminados por todo el país, predominan el carbón, el nance, los espinos, morro, chaparro, etc.

Las montañas centrales volcánicas dedicadas al cultivo del café han sufrido una erosión moderada, mientras que las laderas sometidas a cultivos de subsistencia han sufrido fuerte erosión.

Al café se le ha llamado la salvación ecológica de El Salvador; por supuesto que no se puede generalizar para todo el país. (13)

#### 1.4.2.3 Condiciones Políticas, Sociales y Económicas

##### 1.4.2.3.1 Introducción

Como se mencionó anteriormente los desastres naturales, más que un fenómeno físico son un producto social.

En El Salvador existen condiciones políticas, sociales y económicas que hacen a la mayoría de la población vulnerables a sufrir el efecto de un evento natural, por lo que a continuación se hace un análisis de estas condicionantes; que reflejan la incapacidad de las estructuras sociales para absorber dichos fenómenos.

##### 1.4.2.3.2 Condiciones Demográficas

La tasa de crecimiento poblacional para El Salvador es de un 3.2% (6), lo cual viene a dar la tasa más elevada de la región. Para el año de 1989 la población total se consideró en 5,138,000 habitantes (6), por lo que El Salvador tiene la más alta densidad poblacional del continente, (240 habitantes/Km<sup>2</sup>)

*Esta explosión demográfica se agudiza en las áreas urbanas especialmente en el AMSS, lo que combinado con otras variables sociales y urbanas generan asentamientos humanos en las periferias de las ciudades, consideradas como zonas de riesgo por sus características físicas (topografía), lo que unido a sus condiciones de vida, vuelve a estas áreas incapaces de amortiguar un evento natural de gran magnitud.*

#### *1.4.2.3.3 Migraciones Internas*

*Es un problema particular de las zonas urbanas, donde se ha visto un notable incremento de la población; especialmente en las últimas décadas debido a migraciones del área rural al área urbana. Esto se debe a los factores siguientes:*

*a) Los habitantes de las zonas rurales se sienten atraídos hacia las zonas urbanas, por falta de empleo existente en el campo.*

*b) Estrechez del territorio; contribuye a que exista una gran movilidad de personas.*

*c) Coyuntura política-social, generada por la condición de guerra que vive el país, la cual afecta con mayor fuerza el interior de la nación.*

*Por citar un ejemplo, para el año de 1984, según estudios de la UCA, más de 85,000 desplazados habían emigrado hacia San Salvador, los que en su mayoría por el factor económico se vieron obligados a vivir en asentamientos populares, en tierra de topografía accidentada y en terrenos periféricos, que no reúnen las garantías mínimas en cuanto a infraestructura, seguridad, salud, etc., para ser habitadas por un ser humano.*

#### 1.4.2.3.4 Educación

*La educación sistemática que recibe la población no solo es un canal de movimiento ascendente, sino que a su vez, es la consecuencia concreta de las posibilidades que la sociedad brinda o permite a sus miembros.*

*En El Salvador para el año de 1986, la tasa de analfabetismo en el área rural era del 54% y en el área urbana del 18%, según estudios realizados por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), lo que indica que gran porcentaje de la población no tiene acceso al sistema educativo. Es evidente, que los sectores populares de las áreas urbanas y rurales tienden a quedarse en el nivel más bajo de la educación; debido al carácter excluyente del modelo económico, lo que implica menores oportunidades de obtener una posición que le genere ingresos y le permita vivir en una forma digna.*

*Esta falta de oportunidades se traduce en marginación de estos sectores, relegándolos a vivir en áreas o zonas propensas a sufrir con mayor magnitud el efecto de un evento natural.*

#### 1.4.2.3.5 Pobreza

*El indicador más global y totalizante de la situación económica, social y cultural de la población es la situación de pobreza. Entendiéndose por pobreza, la incapacidad económica de cubrir las necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud, educación, vestido y recreación mínima.*

*El estado de pobreza extrema en El Salvador, se ha visto incrementado en la última década, debido al conflicto político-militar que vive el país, lo que trae consigo un alto nivel de desempleo, desintegración familiar, migraciones internas, etc.*

*Según estudios de la Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas (UCA),*

para el año de 1988, existía un 44.7% de desempleo, 60.2% de familias con ingresos mensuales menores a los ¢ 500.00, un 13.2% con ingresos familiares mensuales superiores a los ¢ 1,000.00 y únicamente un 2.2% que superaba los ¢ 2,000.00 mensuales.

La extrema pobreza reflejada en el 60.2% de familias con ingresos menores a los ¢ 500.00, las ubica como familias que potencialmente viven en condiciones no dignas y en zonas de peligro tanto en el área urbana como rural. En este sentido, el mayor porcentaje de las familias salvadoreñas se ve obligado a residir en zonas de alto riesgo, que por sus características topográficas, geológicas, etc., unidas a las condiciones de vida, hace a estas zonas vulnerables e incapaces de absorber el efecto de un fenómeno natural.

#### 1.4.2.3.6 Vivienda

En la vivienda como en la alimentación, salud y mortalidad, se reflejan los niveles de vida y las posibilidades concretas de satisfacer las necesidades básicas de las personas.

En El Salvador existe un déficit habitacional alarmante tanto en el área urbana como rural; según estudios de MIPLAN, para 1986, existía un déficit global de 580,000 viviendas, del cual 180,000 correspondían al área urbana y más de 402,000 al área rural, así mismo, se estimó un déficit habitacional en el AMSS en los 1985-1986 superior a las 93,000 viviendas.

A partir de los datos presentados por MIPLAN, se refleja la incapacidad de la política habitacional del Gobierno para resolver no solo el déficit habitacional si no la problemática en su conjunto, y por otro lado los factores coyunturales han imprimido un carácter explosivo a dicha problemática, y no hacen si no profundizar la tendencia cada vez mayor hacia la proliferación de asentamientos

populares fundamentalmente en el AMSS; donde se puede hacer una clasificación de 5 tipos de vivienda; el mesón, los tugurios, colonias ilegales o piratas, los campamentos y las casas viejas. (6)

Los sistemas de construcción de estas viviendas son por lo general endebles y el tipo de material con que están construidas son deficientes y poco adecuados, tal es el caso del bahareque, el adobe, o los desechos como el plástico, cartón, lámina o madera, lo que unido al tipo de terreno donde se dan estos asentamientos, que por lo general son de topografía accidentada, explica porqué las viviendas populares están tremendamente expuestas a sucumbir o colapsar con extrema facilidad, ante fenómenos o catástrofes naturales (terremotos, deslizamientos de tierra, etc).

En el sector rural el déficit habitacional es más notable, donde el 62.8% no tiene ningún tipo de servicios sanitarios, el 55.4% carece de servicio de agua y el 82.4% no tiene alumbrado eléctrico. (6)

Estos asentamientos, por lo general, se establecen en las riberas de los ríos y en terrenos de topografía accidentada expuestas a inundaciones y deslizamientos de tierra.

Los materiales de construcción no son los adecuados para ofrecer garantías mínimas de seguridad ante un evento natural de gran magnitud; generalmente se ocupa para su construcción: el zacate, bahareque y el adobe.

### 1.5 PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS

La teoría de las decisiones es aplicable al caso de los desastres naturales, para encontrar soluciones viables, utilizando un árbol de decisiones lógicas, en el cual se muestran las diversas estrategias de solución.

## 1.6 METODOLOGIA

La investigación se realizará a través de consultas bibliográficas, entrevistas, asesorías y seminarios en diferentes instituciones, tales como: Universidades, Organismos Nacionales (MOP, COES, MIPLAN, IGN, ASIA, etc) y Organismos Internacionales (OPS, OMS, ONU, OEA, etc.)

### CAPITULO I "PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA"

En este capítulo se analizarán los estudios realizados sobre los desastres naturales en El Salvador, tomando en cuenta las causas sociales y naturales que contribuyeron para que ocurran dichos desastres. Para ello, nos apoyaremos de toda la información existente en diferentes instituciones u organismos que funcionan en el país.

Este se desarrollará siguiendo el orden que establece el método científico.

### CAPITULO II " MARCO TEORICO "

En el marco teórico se hará un planteamiento detallado sobre qué es la teoría de decisiones, sus fundamentos, herramientas que utiliza, así como los campos de aplicación. Se analizará su aplicación al caso de los desastres naturales, específicamente a las inundaciones y deslizamientos de tierra.

El desarrollo se hará a través de investigaciones bibliográficas, así como consultas y/o entrevistas a conocedores de la materia.

### CAPITULO III y IV "APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES"

La aplicación de la teoría de decisiones a los casos de inundaciones y deslizamientos de tierra, se desarrollará por medio de la obtención de todas las variables que intervienen para que éstos desastres ocurran; dichas variables

*serán seleccionadas de dos casos reales que se han dado en el país, para ello se hará uso de bibliografía, consultas y/o asesorías, así como visitas de campo a los lugares donde estos eventos han ocurrido. Estas se mostrarán en un árbol de decisión para cada caso.*

#### *CAPITULO V "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"*

*Las conclusiones y recomendaciones se harán basándose en los resultados obtenidos durante la investigación.*

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 CRITERIOS PARA LA TOMA DE DECISIONES SEGUN CONDICIONES DE LA NATURALEZA.

Actualmente la teoría de decisiones desempeña un papel importante en una gran diversidad de campos, para ayudar a los tomadores de decisiones a escoger la mejor estrategia para darle solución a un determinado problema.

Como vivimos en un mundo en el que el curso de los eventos futuros no puede predecirse con absoluta seguridad, lo mejor que se puede hacer es llegar a soluciones aproximadas basados en la probabilidad de esos posibles eventos futuros.

Las probabilidades que se asignan pueden variar de 0 a 1, el cero completamente pesimista y el uno totalmente optimista, sobre la ocurrencia de un determinado evento bajo ciertas condiciones.

Los criterios para la toma de decisiones se basan en el grado de información que se encuentra al alcance del decisor con respecto a la probabilidad de ocurrencia de los diversos estados de la naturaleza (20)

En este sentido, se hace una clasificación de los diferentes criterios bajo los cuales se toma una decisión. Estos criterios son:

- a) Criterios de decisión en condiciones de certidumbre
- b) Criterios de decisión en condiciones de riesgo.
- c) Criterios de decisión en condiciones de incertidumbre completa.

##### 2.1.1 Criterios de decisión bajo condiciones de certidumbre.

La toma de decisiones bajo condiciones de certidumbre, ocurre cuando el decisor conoce el estado de la naturaleza con absoluta certeza.

*En tales situaciones de decisiones la persona que toma la decisión conoce el conjunto de sus estrategias posibles; también conoce los resultados correspondientes a cada una de las estrategias disponibles y conoce sus preferencias por los diversos resultados considerados.*

*Por lo tanto, las matrices de decisión solamente poseen una columna donde se especifica el estado natural pertinente. Consecuentemente a cada curso de acción factible se le asigna un único resultado posible (18)*

*Es un hecho que numerosos, importantes y costosos problemas de decisión corresponden a esta clase de situaciones.*

*Ejemplos típicos son los siguientes:*

- a) Asignación de diversas tareas a distintas máquinas de terracería y programación de éstas.*
- b) Determinación de una mezcla óptima de concreto.*

### *2.1.2 Criterios de decisión bajo condiciones de riesgo.*

*La toma de decisiones en condiciones de riesgo se refiere a la condición en que hay cierto número de estados de la naturaleza y el que toma las decisiones debe prever la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos.*

*Normalmente, las probabilidades de ocurrencia de los estados de la naturaleza se conocen mediante la determinación de la frecuencia con que dichos estados ocurrieron en el pasado; es decir, se utiliza el enfoque de la frecuencia relativa para aproximar el valor de las probabilidades pertinentes.*

*También se determinan las probabilidades de ocurrencia de los estados naturales, mediante criterios personales o subjetivos. (18)*

*La toma de decisiones en condiciones de riesgo es el tipo de problemas que surge más a menudo. Ejemplos típicos son:*

a) *Criterios para el diseño de la estructura de un puente para un período de retorno de 20 años, tomando en cuenta el caudal máximo para el período de diseño.*

b) *Diseño de obras de protección para evitar el desbordamiento de un río, conociendo los niveles de agua máximos para un período de 20 años.*

c) *Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de tierra en un área determinada.*

*En este tipo de problemas de decisión, el decisor no puede estar completamente seguro acerca de la cual es la mejor estrategia a tomar, que lo conduzca al resultado deseado, ya que todos los estados de la naturaleza tienen probabilidades de ocurrencia.*

### *2.1.3 Criterios de Decisión en Condiciones de Incertidumbre Completa.*

*Este tipo de problemas de decisiones, se presenta cuando se desconocen las probabilidades de ocurrencia, de los diversos estados de la naturaleza.*

*El carácter de la incertidumbre está asociado con el hecho que nos damos cuenta de que somos incapaces de estimar o calcular las posibilidades asociadas con cada uno de los estados naturales. Esto significa también que somos incapaces para enumerar los estados naturales, de tal manera que sean mutuamente excluyentes (solo uno de ellos puede ocurrir) y totalmente exhaustivos (se han considerado todos los eventos que pueden ocurrir).*

*Este tipo de problemas el decisor se enfrenta a situaciones que nunca han ocurrido y que talvez no ovuelvan a repetirse en el futuro, y en esa misma forma.*

*Cada curso de acción factible llevará a una respuesta específica extraída de un conjunto de respuestas posibles; sin embargo, no se puede saber cuál es*

la respuesta que se obtiene, ni tampoco se puede aplicar una ponderación de probabilidades a esos resultados posibles. (20)

Ejemplos típicos bajo esta condición pueden ser:

a) Demanda a largo plazo de viviendas prefabricadas construidas en el sector rural.

b) Previsión de los cambios tecnológicos, en maquinaria para terracería.

Los criterios de decisión cuando predominan las condiciones de incertidumbre completa, reflejan los valores personales y las actitudes fundamentales hacia el riesgo que tienen los responsables de la toma de decisiones.

El decisor puede adoptar una actitud intermedia entre el pesimismo y el optimismo, o bien se puede decidir a utilizar algún otro criterio más conveniente.

Existen algunos criterios de decisión en condiciones de incertidumbre completa, que conducen a escoger el mejor curso de acción de acuerdo al criterio elegido. Entre estos tenemos:

#### 2.1.3.1 Criterio de decisión Hurwicz

Este criterio de decisión es optimista y se basa en la idea de que se obtienen oportunidades favorables.

Como la naturaleza es favorable, quien toma las decisiones debe escoger el estado de la naturaleza, a través de la cual obtiene el resultado deseado para la estrategia que escoja (20)

#### 2.1.3.2 Criterio de Decisión Wald

Este criterio de decisión sugiere que quien toma las decisiones siempre debe ser pesimista, lo que da por resultado un criterio de decisión máximo. Esto significa que el decisor toma el mejor resultado para el estado de la naturaleza

más desfavorable (20).

### 2.1.3.3 Criterio de decisión Savage

Este criterio consiste en que después de saber el resultado, el decisor pueda arrepentirse de haber escogido ese curso de acción, puesto que tal vez hubiera preferido escoger un curso de acción diferente, procurando de que este arrepentimiento se reduzca al mínimo.

El grado de arrepentimiento se puede conocer por medio de la diferencia entre el resultado real obtenido y el resultado que se hubiera obtenido en el caso de haber conocido de antemano el estado natural que ocurriría (20).

### 2.1.3.4 Criterio de Decisión Laplace

Este método supone que todos los diversos estados de la naturaleza tienen igual probabilidad de ocurrencia, o sea que es probable que ocurran todos los estados de la naturaleza (20).

## 2.2 TIPOS DE PROBABILIDADES UTILIZADAS EN LA TOMA DE DECISIONES

La mayor parte de los problemas que se resuelven a través de la teoría de decisiones, poseen cierto grado de incertidumbre, lo que hace necesario la asignación de probabilidades a los diferentes eventos de la naturaleza, para ayudar a escoger la estrategia que conducirá al resultado deseado.

En el mundo real en el que vivimos no se puede conocer con certeza el curso de los eventos futuros; por lo cual lo mejor que se puede hacer es llegar a soluciones aproximadas, basadas en la asignación de probabilidades a estos eventos: las probabilidades pueden variar de cero a uno (20).

Es decir, que la probabilidad que se le asigne a un determinado evento está

relacionado con el grado de confianza que se le atribuye a la ocurrencia del mismo.

*El cálculo de las probabilidades puede definirse como un modelo matemático, basado en la frecuencia con que los estados de la naturaleza ocurrieron en el pasado; o mediante la asignación a través de criterios personales subjetivos (18).*

*Los tipos de probabilidades utilizadas para la aplicación de esta teoría son las siguientes:*

#### • 2.2.1 Probabilidades subjetivas y objetivas

*Las probabilidades pueden ser subjetivas y objetivas.*

*Las probabilidades subjetivas con conjeturas bien formadas, mientras que las objetivas se basan en los datos históricos y la experiencia ordinaria para apoyar la asignación de probabilidades.*

*Con frecuencia no hay datos históricos, lo que significa que quien toma las decisiones debe depender de su propia apreciación de los varios resultados posibles.*

*Hay que reconocer que en las probabilidades subjetivas solo se hacen conjeturas parciales, porque mucho de lo que se sabe se deriva de los datos históricos o de la intuición.*

*Por lo que las probabilidades subjetivas se pueden definir como el grado de creencia racional de que ocurrirá o no un cierto evento, sopesado con la fuerza de la convicción con la que esa creencia está relacionada.*

*Una probabilidad es subjetiva en el sentido de que al menos dos personas razonables pueden asignar diferentes probabilidades al mismo evento. Esto no significa que la asignación sea arbitraria. Tal asignación está basada en la experiencia que se ha tenido, y cuando dos personas razonables han tenido más*

o menos la misma experiencia sus probabilidades "coinciden" gruesamente (1).

Cuando no se tiene una información confiable, hay que recurrir a personas cuya experiencia sobre los eventos que interesan en un determinado problema es muy amplia.

Entre los dos tipos de probabilidades objetivas y subjetivas son preferibles las primeras, sin embargo en algunos casos es necesaria la utilización de probabilidades subjetivas o una combinación de ambas.

Para poder asignar probabilidades subjetivas adecuadamente hay que tener una descripción clara y completa del conjunto de los estados naturales posibles. Es decir:

- a) Es necesario considerar todos los eventos posibles, porque si no se incluye uno de ellos en la matriz de decisiones, también se omitirán las consecuencias correspondientes al evaluar las distintas estrategias posibles;
- b) Un evento será imposible si el decisor quiere considerarlo así;
- c) La lista de los eventos considerados debe ser completa en el sentido de que uno de ellos necesariamente debe ocurrir;
- d) Hay que enumerar los eventos de tal manera que sean mutuamente excluyentes (18).

### 2.2.2 Probabilidades objetivas

#### Independencia estadística

En la teoría de la probabilidad los eventos pueden ser estadísticamente dependientes o independientes. Si dos eventos son independientes, la ocurrencia de uno de ellos no afecta la probabilidad de ocurrencia del segundo. En condiciones de independencia estadística hay tres tipos de probabilidades: marginal, conjuntas y condicional (20)

### 2.2.2.1 Probabilidades Marginales.

La probabilidad marginal en condiciones de independencia es la probabilidad de ocurrencia de un evento cualquiera, de tal modo que el evento considerado está aislado y no está relacionado en manera alguna con los eventos que le preceden o le siguen.

La forma de la probabilidad marginal en condiciones de independencia estadística es:

$$P(A) = p(A).$$

la cual se lee así:

La probabilidad de que ocurra el acontecimiento A, es la probabilidad del evento A. (13)

### 2.2.2.2 Probabilidades Conjuntas

Las probabilidades conjuntas se relacionan con el espacio de eventos de esta manera: cuando hay dos o más eventos independientes, la probabilidad de que ocurran simultáneamente o sucesivamente es igual al producto de las probabilidades marginales de cada uno de ellos.

Las probabilidades conjuntas se ocupan de eventos que se excluyen mutuamente y de los que son colectivamente exhaustivos.

Expresada matemáticamente, la ecuación de la probabilidad conjunta es la siguiente:

$$P(AB) = p(A) \times p(B)$$

la que se lee así:

La probabilidad de que los eventos A y B ocurran simultáneamente o sucesivamente es igual a la probabilidad de que ocurra el evento A, multiplicada por la probabilidad de que ocurra el evento B (20)

### 2.2.2.3 Probabilidad Condicional

En los eventos independientes las probabilidades no se ven afectadas en modo alguno por la ocurrencia de cualquier otro evento precedente, posterior, o que ocurra simultáneamente: por lo cual la probabilidad de que ocurra el evento A si ha ocurrido B, es igual a la probabilidad de A. Siendo esta la condición bajo independencia estadística.

La expresión matemática es:

$$P(A, B) = p(A)$$

Lo que significa que en condiciones de independencia estadística la ocurrencia del evento A, no depende en modo alguno de la ocurrencia de cualquier otro evento (20).

### 2.2.3 Dependencia Estadística

Hay dependencia estadística si la probabilidad de que ocurra algún evento se afecta por la ocurrencia de algún otro evento o depende de ella.

Los tipos de probabilidades asociados con la dependencia son iguales a los de independencia estadística.

#### 2.2.3.1 Probabilidades Marginales

La probabilidad marginal de un evento dependiente estadísticamente, es la misma que para el evento estadísticamente independiente, por la sencilla razón de que el término marginal significa que únicamente se considera una sola probabilidad, aunque se trate de dos eventos dependientes; una probabilidad marginal bajo dependencia solo se aplica a uno de ellos. (20)

La expresión matemática es:

$$P(A) = p(A).$$

### 2.2.3.2 Probabilidades Condicionales

La probabilidad condicional de un evento estadísticamente dependiente es más complicada a calcular que la probabilidad condicional de un evento independiente.

La probabilidad condicional del evento A, dada la ocurrencia del evento B, se simboliza por:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

La cual se lee de la siguiente manera:

Siempre que haya ocurrido el evento B, la probabilidad del evento A es la probabilidad de que los eventos A y B ocurran simultáneamente o sucesivamente, dividida entre la probabilidad del evento B.

$P(A \cap B)$ , significa la intersección de los eventos A y B, o sea, el conjunto de todos los puntos que están en A y en B simultáneamente y se acostumbra representar por AB. (20)

### 2.2.3.3 Probabilidades Conjuntas.

Las probabilidades conjuntas de los eventos A y B es igual a la probabilidad del evento A, siempre que haya ocurrido el evento B, multiplicada por la probabilidad del evento B.

Matemáticamente se expresa así:

$$P(A.B) = P(A/B) \times P(B).$$

La suma de las probabilidades conjuntas para un problema determinado deben ser igual a uno, porque los eventos se excluyen mutuamente y son colectivamente exhaustivos. (20)

## 2.3 LA TECNICA DEL ARBOL DE DECISION COMO UN INSTRUMENTO PARA LA APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES.

### 2.3.1 Generalidades

El árbol de decisiones se ha llamado así porque se asemeja a un árbol, aunque para mayor conveniencia es horizontal, ya que esta forma facilita su elaboración e interpretación, teniendo el decisor una mejor visualización de las diversas estrategias.

La base del árbol es el punto inicial de la decisión, sus ramas comienzan con el primer evento casual, cada una de las cuales produce dos o más posibles efectos, algunos de los cuales causan otros eventos casuales y puntos subsiguientes de decisión.

Las cifras en que se basan los valores del árbol, se obtienen mediante cuidadosas investigaciones y esto causa probabilidades para ciertos eventos casuales y pronósticos para cada resultado posible, de acuerdo con la influencia causada por diversos eventos casuales.

Los nudos de eventos casuales o nudos de azar, se representan en el árbol por medio de círculos, y a todas las ramas que salen de este círculo se les asignan probabilidades de ocurrencia.

Los nudos de decisión representan por un cuadrado, de donde parten las diversas estrategias que un decisor puede tomar, a estas estrategias no se les asignan probabilidades de ocurrencia.

En los puntos terminales del árbol de decisión se colocan los resultados esperados, de acuerdo a las estrategias consideradas.

Una característica importante del árbol de decisión es que utiliza el concepto de regreso a un nivel inferior, para resolver un problema, lo que significa comenzar con el término de la derecha que tenga el mayor valor

esperado del árbol y regresar al punto de decisión actual o inicial, para determinar la decisión o decisiones que deban tomarse.

Casi todas las decisiones requieren árboles con un gran número de ramas y más de un punto de decisión. La multiplicidad de puntos de decisión es la que hace necesario el proceso de regreso. (20)

### 2.3.2 Etapas para el análisis de problemas utilizando el Arbol de Decisión.

Las diferentes etapas para el análisis de un problema son las siguientes:

1. Descripción del problema para definir si realmente es el problema que interesa resolver.
2. Establecer el período de análisis
3. Definir el objetivo o los objetivos que se persiguen.
4. Establecer los criterios de evaluación.
5. Representación del problema con sus diferentes estrategias de solución utilizando el árbol de decisión. (1)

Estas etapas se describen a continuación:

#### 2.3.2.1 Descripción del Problema

Acá es donde se describe detalladamente el problema que se pretende resolver, incluyendo todas sus posibles estrategias de solución.

#### 2.3.2.2 Período de Análisis

Es el tiempo en el cual interesa analizar un problema determinado, que se establece de acuerdo a su naturaleza.

El árbol de decisión se diseña para este período, fuera del cual no se considera ningún acto o evento.

### 2.3.2.3 Objetivos

Consiste en establecer claramente el o los resultados buscados.

### 2.3.2.4 Criterios de Evaluación

Un criterio de evaluación es la definición de un indicador que permita medir el logro de un objetivo.

Estos dependen de la naturaleza del problema y del criterio personal del decisor.

### 2.3.2.5 Construcción del Arbol de Decisión.

El árbol debe mostrar:

1. Todos los actos inmediatos entre los que el decisor desea seleccionar.
2. Todos los actos y eventos inciertos futuros que el decisor desee considerar, porque ellos pueden afectar directamente las consecuencias de los actos inmediatos.
3. Todos los eventos inciertos que el decisor desee considerar porque pueden proporcionar información que pueda afectar su selección futura entre actos y por consiguiente afecta las consecuencias de los actos inmediatos de manera indirecta. (1)

Una rama en el diagrama puede representar un acto o un evento incierto. Un cuadrado del que salen ramas que representan actos es un punto de decisión y un círculo del que salen ramas que representan eventos es un punto de incertidumbre.

Los eventos en un punto de incertidumbre deben ser mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos.

Mutuamente exclusivos indica que solo uno de ellos puede ocurrir y

colectivamente exhaustivos que se han considerado todos los eventos que pueden ocurrir. Esto también debe cumplirse para los actos en los puntos de decisión.

En cualquier punto de decisión, los eventos y los actos cuya ocurrencia está perfectamente determinada para el decisor, en el diagrama deben estar situados a su izquierda y todos aquellos que aún son una incógnita deben estar a su derecha. (1)

### 2.3.3 Asignación de Probabilidades a los Nudos de Azar.

En el análisis de un problema utilizando un diagrama de flujo de decisión, como ya se dijo, se escriben en orden cronológico las diferentes alternativas de acción que se presentan y la información adquirida a lo largo de las diferentes rutas. En algunos nudos del árbol, el decisor controla la elección, pero en otros el control pasa a manos del azar. En estos nudos controlados por el azar es crucial conocer las probabilidades de que el azar escoja una rama particular de las varias alternativas posibles.

Estas probabilidades que se les asignan están en función del grado de información que se posee, las cuales pueden ser probabilidades subjetivas u objetivas.

Entre las probabilidades objetivas se tienen: marginales, conjuntas y condicionales que pueden ser bajo dependencia o independencia estadística. (20)

Las probabilidades subjetivas son asignadas de acuerdo a la experiencia del decisor.

El cálculo de estas fueron mencionadas en el apartado 2.2.

### 2.3.4 Evaluación en los Puntos Terminales.

En los puntos terminales se llega a valores que pueden ser utilidades o

pérdidas que dependen de los costos o beneficios que se tengan en las diferentes estrategias consideradas.

En estos puntos, también se pueden colocar resultados esperados que no necesariamente sean valores monetarios; o la combinación de ambos; es decir, resultados esperados y valores monetarios, los cuales permitirán al decisor seleccionar la mejor estrategia.

### 2.3.5 Evaluación del Arbol de Decisión.

Después de haber construido el árbol de decisión con las diversas estrategias posibles y obtenido los resultados en los puntos terminales de cada rama, se procede a evaluarlo; con el objetivo de seleccionar la mejor estrategia, utilizando el concepto de "regreso a un nivel inferior".

Existen dos criterios de evaluación:

1. Equivalente Bajo Certeza (EBC)
2. Valor Esperado Monetario (VEM)

#### 2.3.5.1 Método de Evaluación bajo el Criterio del EBC

Es una forma de descomponer el árbol; partiendo de los puntos terminales hasta llegar al punto inicial de la decisión, en donde se hace la selección de "la mejor estrategia a seguir".

El EBC de una situación incierta es la mínima cantidad por la cual el decisor está dispuesto a cambiar esa situación que posee. (1)

La descomposición consiste en:

1. Considerar primero los puntos de incertidumbre terminales y determinar los equivalentes bajo certeza, sustituirlos por su equivalente y continuar con el proceso hasta que los puntos de decisión sean terminales.

En estos puntos la decisión es obvia, seleccionar el acto que optimice la

cantidad del criterio seleccionado.

2. Si el punto de decisión analizado fue el punto inicial se termina el problema; si no es así quedarán puntos de incertidumbre como terminales, debiendo continuar con el paso 1, hasta llegar al punto inicial.

Existen dos hipótesis para poder utilizar el EBC en la evaluación de un árbol de decisión:

La primera hipótesis dice: "que debe existir un solo decisor en la evaluación".

La segunda hipótesis se refiere a: "que los únicos actos y eventos que se deben considerar en la selección de la mejor estrategia son los que aparecen en el diagrama".

El valor que se asigna al EBC, es un valor subjetivo que depende de las preferencias del decisor y de la experiencia que éste tenga en problemas similares.

Por lo tanto, no es posible concluir, al comparar el valor dado al EBC de un mismo problema, entre dos decisores, que uno está bien y el otro equivocado. Los dos están tomando su mejor decisión.

El EBC también se puede obtener al construir curvas de preferencias, que son gráficas que dependen exclusivamente del decisor, no existen dos curvas iguales para dos decisores.

Es decir, la forma o concavidad que éstas tengan depende de la aversión propensión o neutralidad al riesgo del decisor.

En este sentido se puede concluir que para analizar un problema bajo este criterio es necesario el cálculo de los EBC. (1)

Para determinar los equivalentes se debe contar con las probabilidades y las preferencias.

### 2.3.5.1.1 Curvas de Preferencia

Una curva cóncava respecto al eje horizontal representa un comportamiento de aversión al riesgo y una curva convexa respecto al eje horizontal representa un comportamiento de propensión al riesgo.

La línea recta representa neutralidad al riesgo. (1)

Un decisor puede tener una combinación de estos comportamientos dependiendo de los valores que estén en juego.

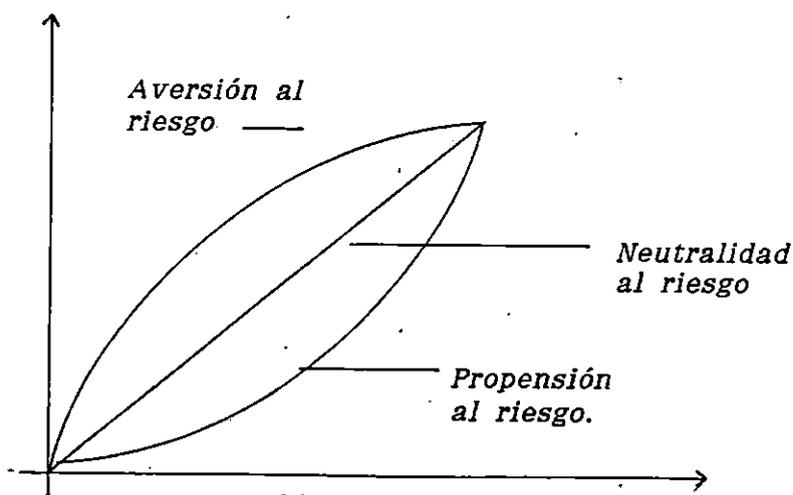


Fig. 2.1

### DIFERENTES CURVAS DE PREFERENCIA

#### 2.3.5.1.2 Forma de construir una Curva de Preferencia.

##### a) Método del Tetraedro. (1)

Consiste en:

1. Determinar los límites superior ( $ls$ ) e inferior ( $li$ ), de las cantidades que se tendrán como consecuencia en un problema determinado.

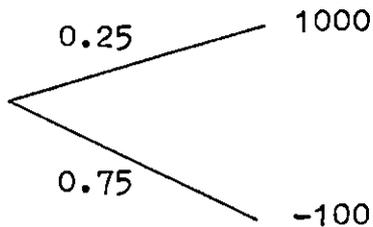
Por ejemplo  $ls = 1000$ ,  $li = -100$

2. Asignar arbitrariamente dos valores de preferencia a los límites superior e inferior, que pueden ser para:  $ls = 1$  y  $li = 0$

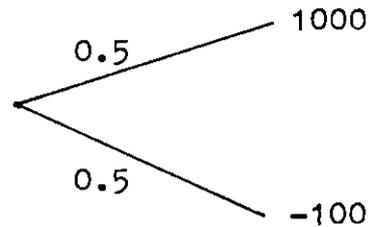
3. Pedir al decisor los equivalentes bajo certeza de tres loterías (sorteo) diferentes.

Por ejemplo: Un tetrahedro de cuatro caras numeradas del 1 al 4:

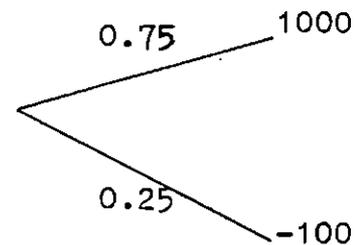
Lotería 1



Lotería 2



Lotería 3



El decisor asigna para la lotería 1 su EBC  $l_1$ , para la segunda lotería  $l_2$  y para tercera  $l_3$ .

La primera lotería consiste en tirar un dado tetrahédrico (cuatro caras), numeradas con 1, 2, 3, 4. Si sale el 1 se gana 1000, y si se tiene en la cara de abajo cualquiera de los otros tres se obtiene -100.

En la segunda lotería se le asigna a dos de sus caras el premio de 1000 y a las otras dos -100.

En la tercera lotería se le asigna a tres de sus caras el premio de 1000 y a la cuarta el de -100; esto justifica las probabilidades asignadas a las loterías anteriores en cada una de sus ramas.

En la tercera, a tres de sus caras el premio de 1000 y a la cuarta el de -100; esto justifica las probabilidades asignadas a las loterías anteriores en cada una de sus ramas.

Como la preferencia de la lotería es la preferencia esperada y como la lotería y el EBC son indiferentes para el decisor, su preferencia es la misma, las preferencias de la lotería son: 0.25, 0.5, 0.75 respectivamente.

4. Por lo tanto se tiene:

$$P(l_1) = 0.25, P(l_2) = 0.5, P(l_3) = 0.75$$

Es decir, la preferencia para el EBC de la lotería 1 es 0.25, la preferencia para el EBC de la lotería 2 es 0.5, y la preferencia para el EBC de la lotería 3, es 0.75.

5. Graficar los cinco puntos obtenidos; preferencias vrs EBC.

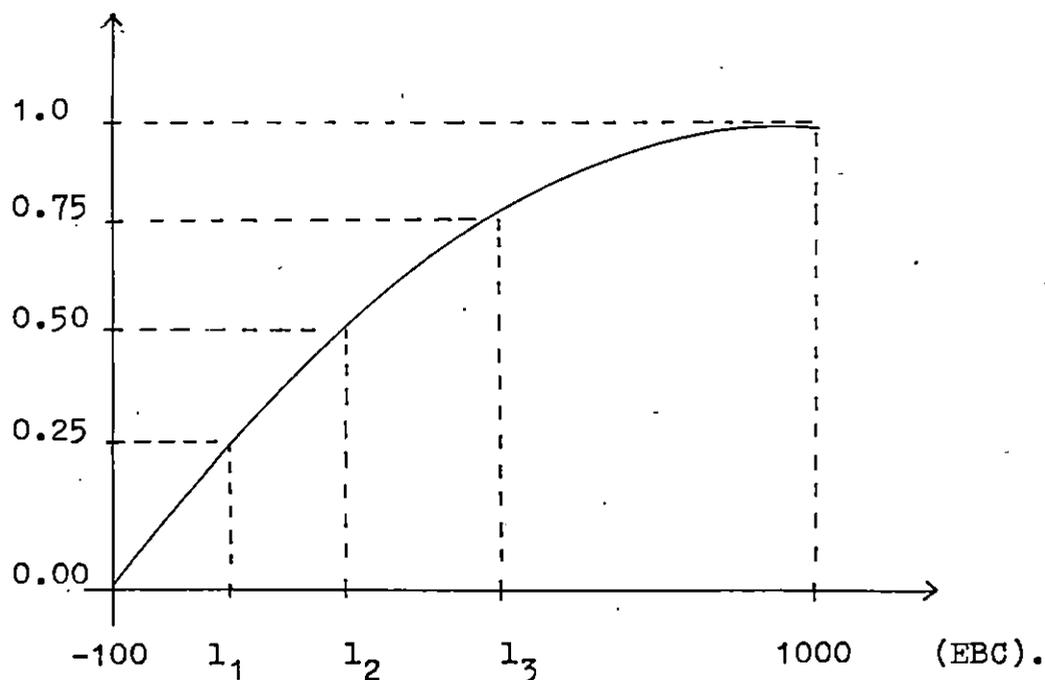


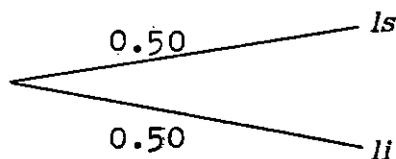
Fig. 2.2

**CURVA DE PREFERENCIA CON AVERSION AL RIESGO**

b) Método de la Moneda. (1)

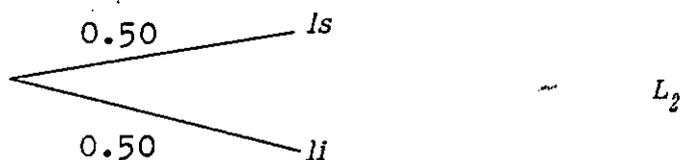
Los pasos 1 y 2 son iguales que en el método del tetrahedro.

3. Pedir al decisor el EBC para la siguiente lotería.



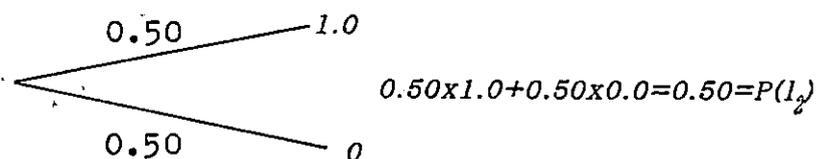
Esta lotería consiste en tirar una moneda (igual probabilidad que salga cara o corona), si sale cara, se gana el ls y si sale corona se gana el li.

Si el EBC que asigna el decisor es  $L_2$  entonces la preferencia de la lotería anterior es igual a la preferencia de  $L_2$ .



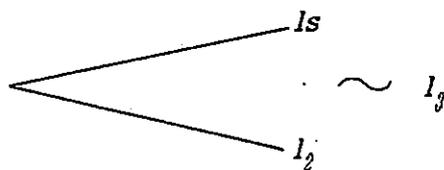
Como en el paso 2, el decisor asigna  $P(ls) = 1$  y  $P(li) = 0$  se tiene:

Lotería No. 1

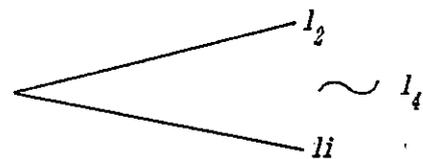


4. Pedirle al decisor el EBC, para las siguientes loterías.

Lotería 2



Lotería 3

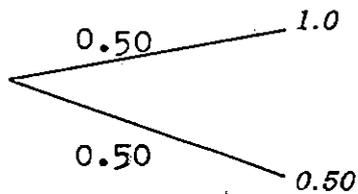


El EBC para la lotería 2 es  $L_3$  y para la lotería 3 es  $L_4$ , las cuales siguen consistiendo en tirar una moneda.

Entonces para el decisor le es indiferente la lotería 2 con  $L_3$  y la lotería 3 con  $L_4$ .

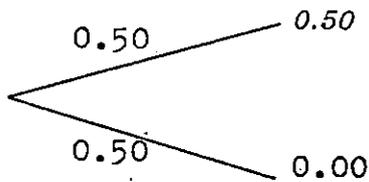
Por lo tanto, se obtienen las preferencias para cada lotería de la forma siguiente:

Lotería No. 2



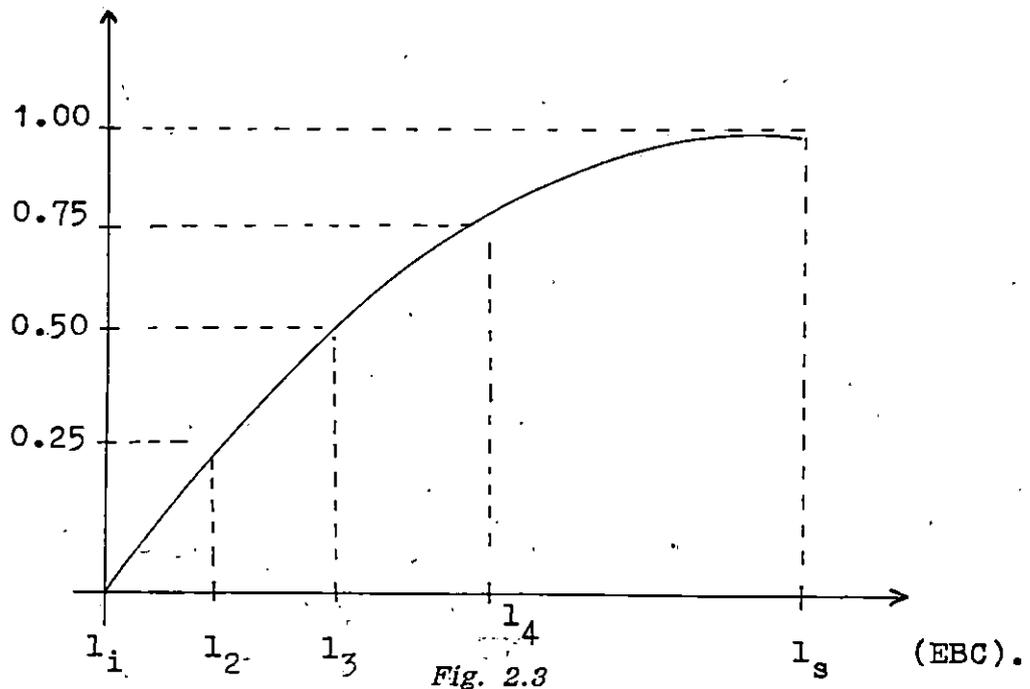
$0.50 \times 1 + 0.50 \times 0.50 = 0.75 = P(L_2)$   
 (Para el EBC de la lotería No. 2 su preferencia es 0.75)

Lotería No. 3



$0.50 \times 0.50 + 0.50 \times 0 = 0.25 = P(L_3)$   
 (Para el EBC de la lotería No. 3 su preferencia es 0.25)

5. Graficar los cinco puntos



CURVA DE PREFERENCIA

Para evaluar las funciones de preferencia lo que se recomienda es utilizar los dos métodos anteriores, comparar sus resultados y ver si no existen

*inconsistencias, en caso de haberlas; llegar a un acuerdo para eliminarlas y ajustarle a estos cinco puntos una de las curvas analíticas que corresponda al comportamiento del decisor.*

#### *2.3.5.1.3 Evaluación Final del Arbol de Decisión.*

*Conocida la curva de preferencia del decisor por cualquiera de los métodos anteriores, se llega a la fase final de evaluación del problema en interés, que depende básicamente de su naturaleza; es decir, si se tiene un solo objetivo, o se tienen varios objetivos.*

*Para problemas con un solo objetivo el proceso de evaluación es el siguiente:*

- 1. En el diagrama del Arbol de Decisiones, indicar los flujos parciales de costos y evaluar los puntos terminales.*

- 2. Calcular las probabilidades para el diagrama.*

- 3. Se sustituyen los valores terminales por sus preferencias, que se obtienen auxiliándose de la curva y se calcula en cada punto de incertidumbre su preferencia esperada, sustituyéndola por el punto. Cuando un punto de decisión es terminal se selecciona el acto que maximiza la preferencia.*

*Se continúa el proceso hasta llegar al punto inicial de decisión, que es donde se selecciona la mejor estrategia. (1)*

*Problemas con varios objetivos.*

*Método de Reducción.*

*El decisor debe:*

- 1. Seleccionar alguna posición terminal como su posición base.*

- 2. En cada posición terminal escribir las diferencias con su posición base.*

- 3. En las diferencias positivas determinar la mínima cantidad en dinero, por*

lo cual estaría dispuesto a pagar para pasar a la posición base (se ha considerado que los pagos son en dinero, pero no es necesario, puede ser otra unidad).

4. Ajustar los valores terminales sumándoles la cantidad del inciso 3, si la diferencia fue positiva y restándolas si fue negativa.

5. Analizar el problema como si tuviera un solo objetivo. (1)

#### 2.3.5.2 Método del Valor Esperado Monetario (VEM).

Es otra forma de descomponer el árbol, partiendo de los puntos terminales hasta llegar al punto inicial de la decisión, en donde se hace la selección de la "mejor estrategia a seguir".

El VEM debe utilizarse si la persona responsable de la toma de decisión, lo usa como su norma para seleccionar un curso de acción que proporcione con certeza una cantidad determinada de dinero o para seleccionar un curso de acción que produzca la mejor o la peor de todas las consecuencias posibles asociadas con un conjunto de alternativas factibles; en una situación concreta bajo incertidumbre. (18)

Utilizando este método, el árbol de decisiones se descompone de la siguiente manera:

1. Se asigna en los puntos terminales de cada rama los beneficios o costos monetarios que se obtienen con cada estrategia.

2. En las ramas que parten de los nudos de azar, se les asignan a cada una de ellas, sus probabilidades de ocurrencia, las cuales pueden ser objetivas o subjetivas de acuerdo al grado de información que se posea.

3. Estando en los extremos del árbol se procede marcha atrás, utilizando sucesivamente dos mecanismos:

- a) Un proceso de cálculo del valor esperado en cada nudo de azar.  
 b) Un proceso de elección que selecciona la ruta hacia el máximo valor futuro en cada nudo de decisión. (17)

Este mecanismo de marcha atrás se muestra en el siguiente ejemplo:

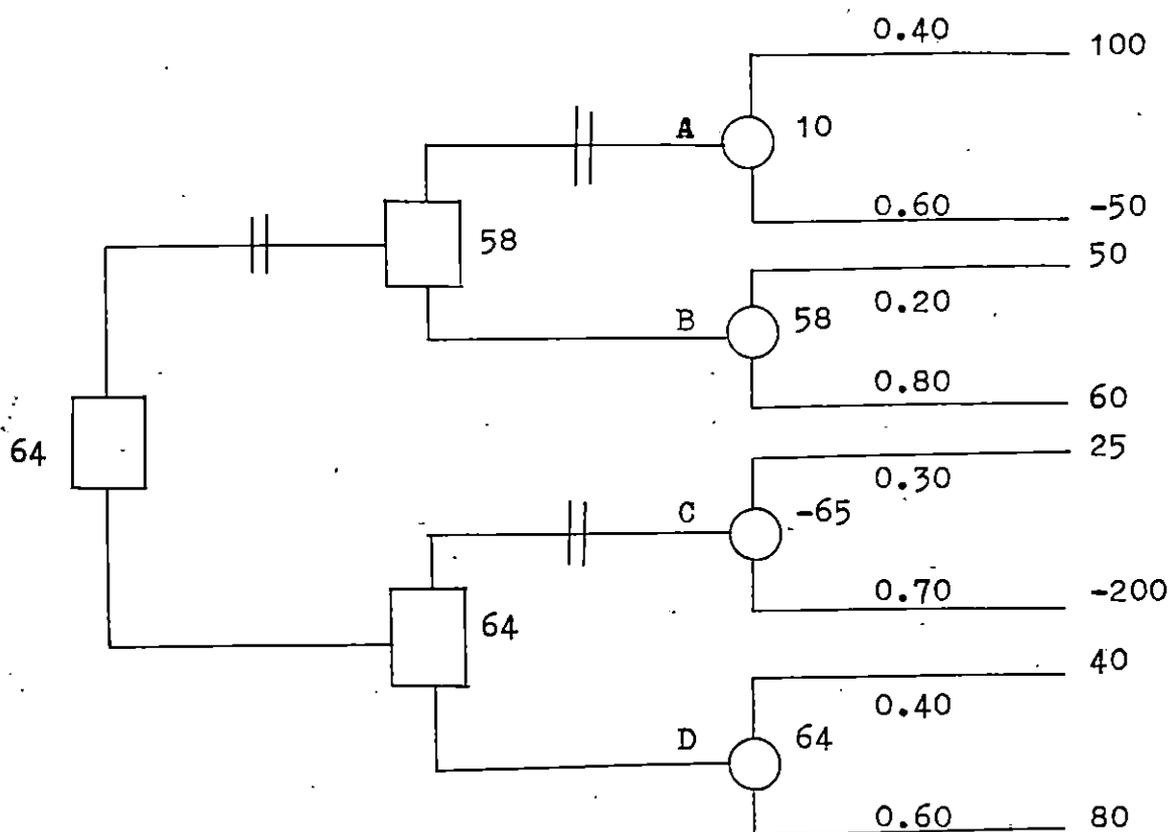


Fig. 2.4

EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES UTILIZANDO EL VEM

Se calcula el VEM, para los nudos de azar A y B.

$$VEM = 100 \times 0.4 + 0.60(-50) = 10$$

$$VEM = 50 \times 0.20 + 60 \times 0.80 = 58$$

Al tener el valor esperado en cada nudo de azar, se procede a seleccionar el mayor de ellos, el cual es trasladado al nudo de decisión inmediato anterior; de donde se obtiene, al comparar entre estos valores, la mejor estrategia; que para este caso es la siguiente:

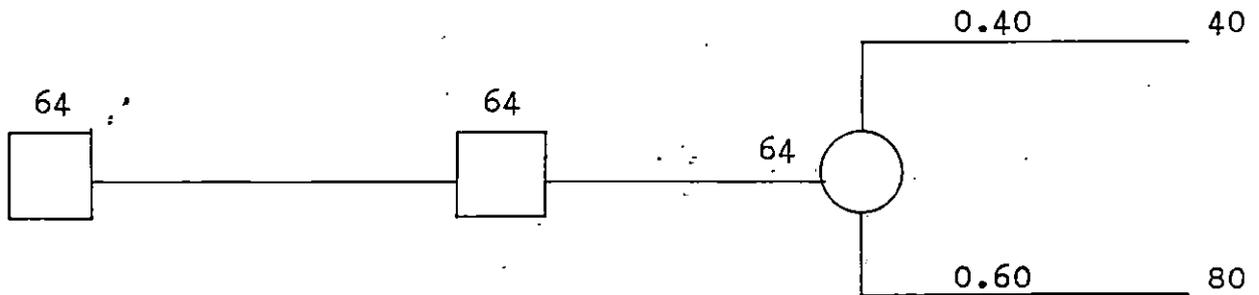


Fig. 2.5

#### ESTRATEGIA OPTIMA

#### 2.4 EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LA APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES.

Para demostrar la aplicación de la Teoría de Decisiones y facilitar su interpretación, se presenta el desarrollo de un ejemplo aplicado al campo de la Ingeniería, en donde se utilizan los principios o fundamentos de ésta.

#### *2.4.1 Descripción del Problema*

*El Gerente de una Compañía Constructora debe decidir la longitud de la tubería ciega que va a comprar, para colocar en un pozo de abastecimiento de agua potable de una urbanización.*

*Esta longitud dependerá de la profundidad a que se encuentre el nivel freático en la zona. Según estudios hidrológicos realizados en el área donde se perforará el pozo, el agua subterránea se encuentra entre los 100 mts., ó 130 mts., de profundidad.*

*Antes de decidir la compra, se puede realizar una prueba en el terreno (pozo de exploración), que dará una indicación de la profundidad del nivel freático; aunque este resultado no se puede aceptar con absoluta seguridad.*

#### *2.4.2 Período de Análisis*

*Se diseñará el sistema de agua potable, para un período de vida útil de 20 años.*

#### *2.4.3 Objetivo*

*Minimizar el costo en la compra de la tubería ciega.*

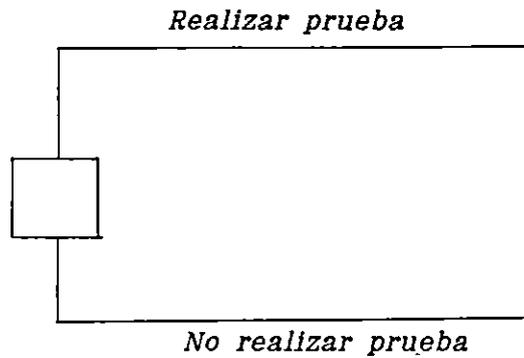
#### *2.4.4 Criterio de Evaluación*

*Criterio económico que permite escoger la estrategia de menor costo.*

#### *2.4.5 Elaboración del Arbol de Decisiones.*

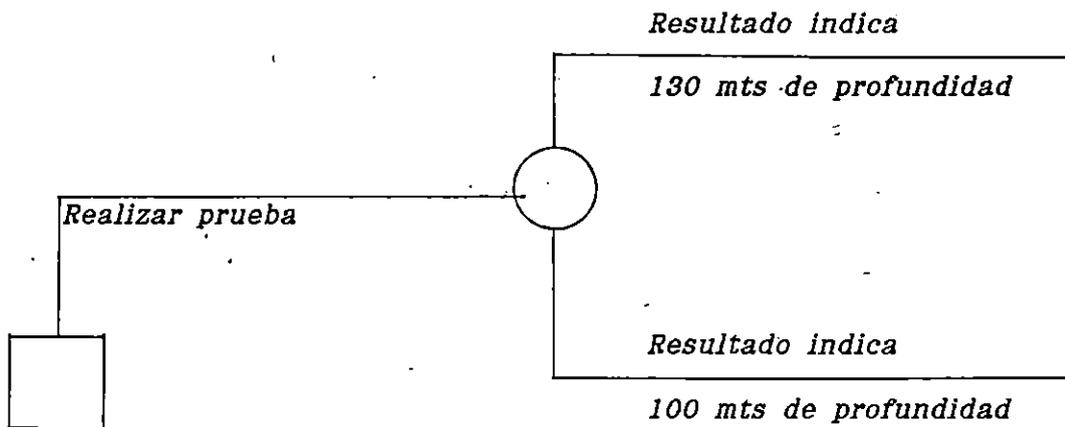
*Debido a que no se conoce con certeza la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en la zona, la primera decisión a tomar es la de realizar la prueba en el terreno (pozo de exploración) o no realizarla.*

Así, se obtiene las primeras dos ramas del árbol de decisiones.



En la parte terminal de la rama de realizar la prueba, necesariamente se llega a un nudo de evento, ya que el resultado de ésta es incierto, razón por lo que se debe considerar todos los resultados posibles.

Por lo que, el Arbol de Decisiones en esta rama crece de la siguiente manera:

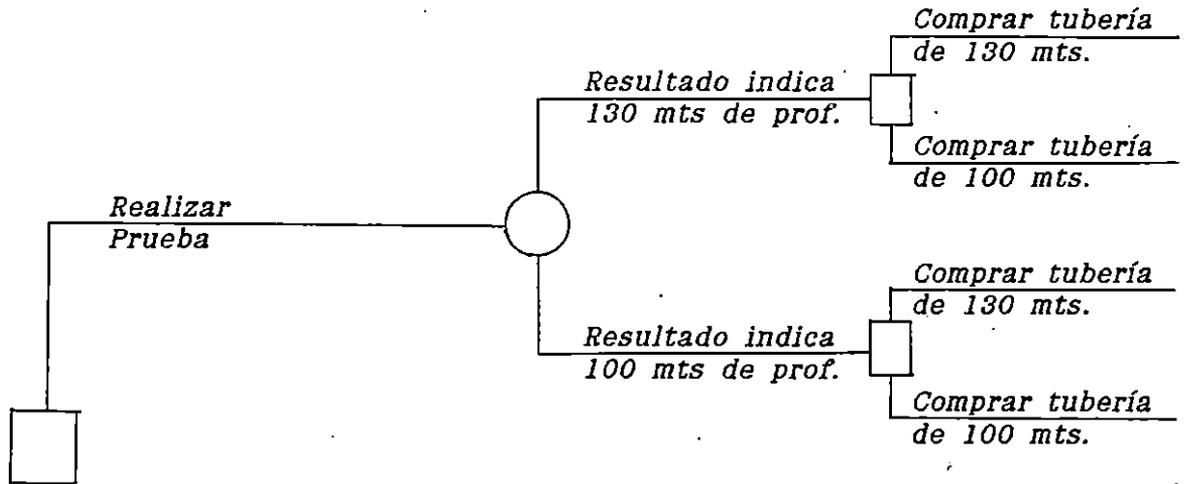


Siguiendo en la rama que el resultado de la prueba indica 130 mts. de profundidad, se hace necesario tomar una decisión, comprar la tubería ciega para el pozo de 130 mts de longitud o comprarla de 100 mts.

En la rama en donde el resultado de la prueba indica 100 mts de

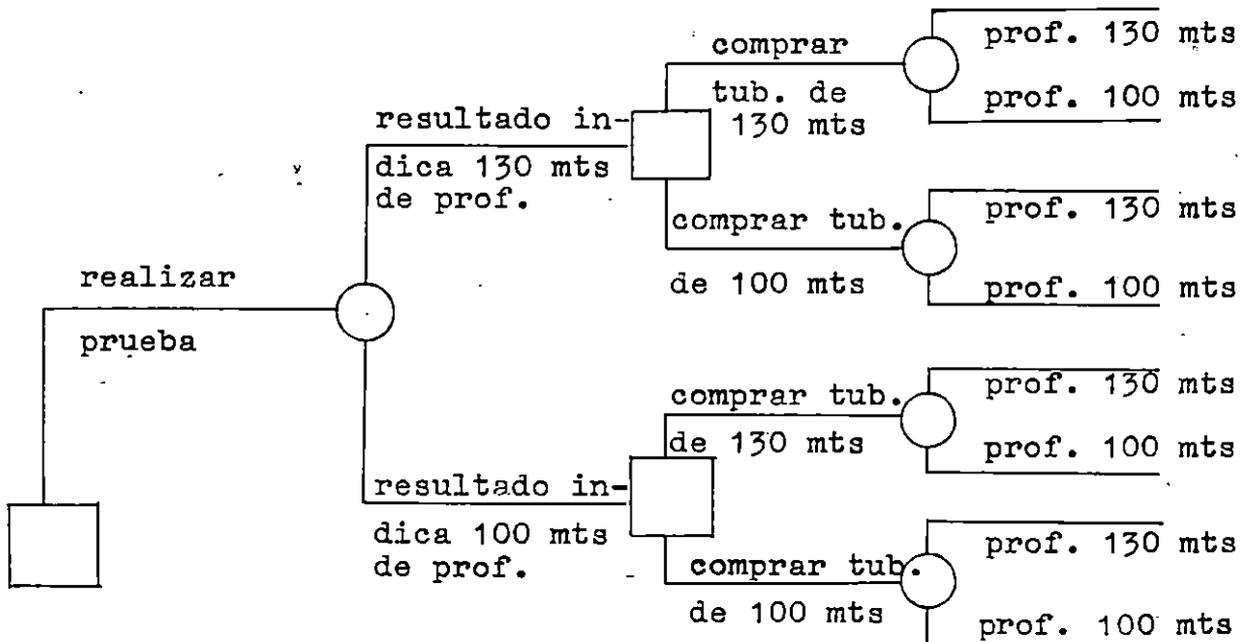
profundidad, al igual que en el caso anterior, se hace necesario tomar una decisión, comprar tubería para 100 mts o 130 mts de longitud.

Por lo que el Arbol de Decisiones crece de la siguiente manera:



Luego de tomada la decisión sobre la longitud de la tubería a comprar, se termina el diagrama de decisiones en nudos eventos, ya que existe la posibilidad de que la profundidad del nivel freático, sea de 130 mts a 100 mts.

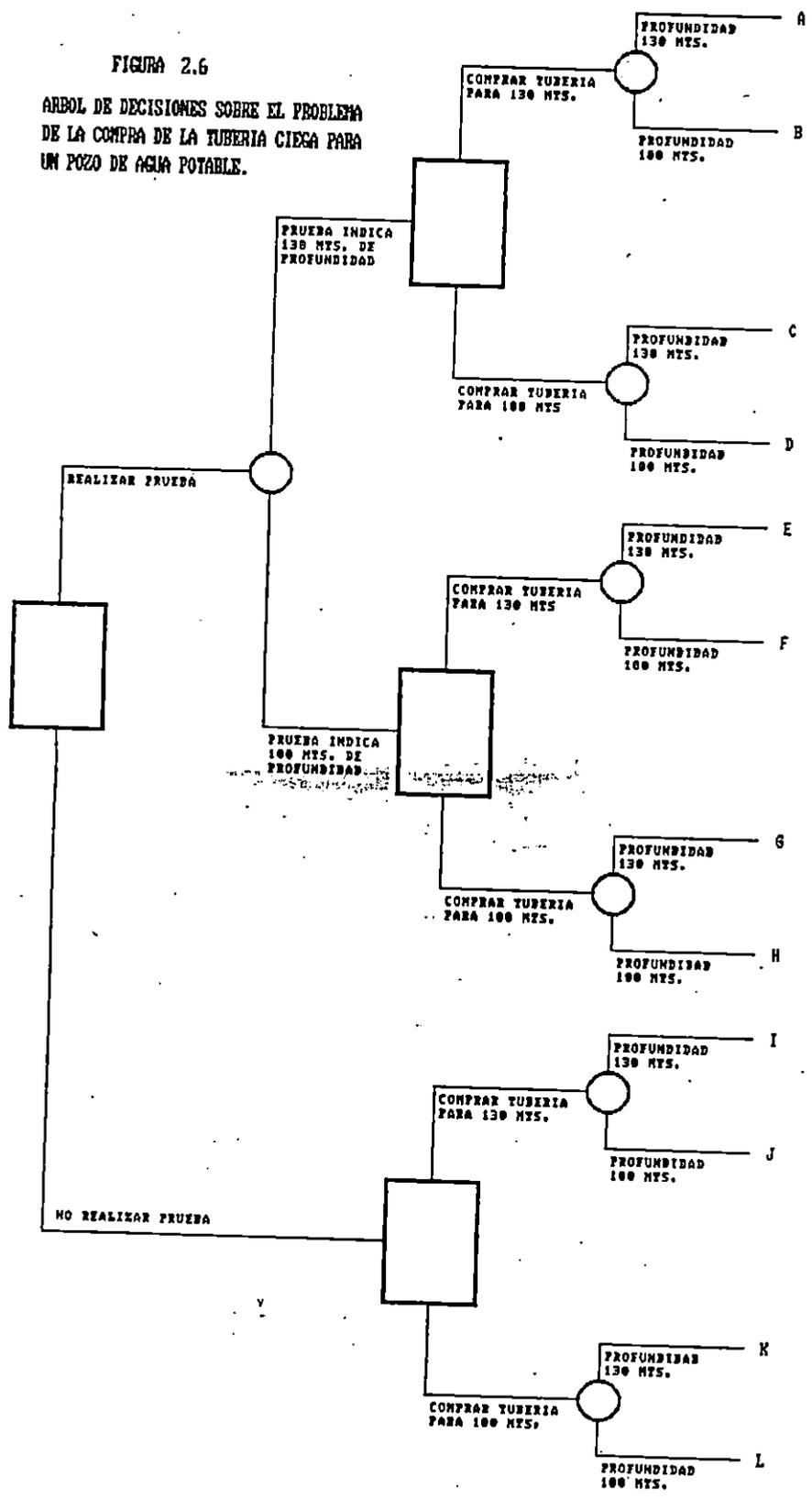
Quedando el Arbol de Decisiones en esta parte, de la siguiente manera:



*En la rama de no realizar la prueba, el primer nudo que se encuentra es un nudo de decisiones, sobre qué longitud de tubería a comprar.*

*Los siguientes nudos de eventos y decisiones son iguales a los de la rama de realizar la prueba, obteniéndose finalmente el Arbol de Decisiones mostrado en la Fig. 2.6*

FIGURA 2.6  
ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL PROBLEMA  
DE LA COMPRA DE LA TUBERIA CIEGA PARA  
UN POZO DE AGUA POTABLE.



#### 2.4.6 Evaluación de Costos para la Asignación de Flujos Parciales de Dinero al Arbol de Decisiones.

Para el caso particular del problema en estudio, los flujos parciales de dinero de las diferentes ramas que componen el diagrama, representan costos para el decisor.

Los costos para este arbol están representados en la decisión de realizar la prueba en el terreno y en la decisión sobre la longitud de la tubería a comprar.

#### Evaluación de Costos

De investigaciones efectuadas en empresas dedicadas a realizar este tipo de pruebas (pozo de exploración).

El costo promedio de su realización se estima en ¢ 150,000

El precio de la tubería ciega se muestra a continuación:

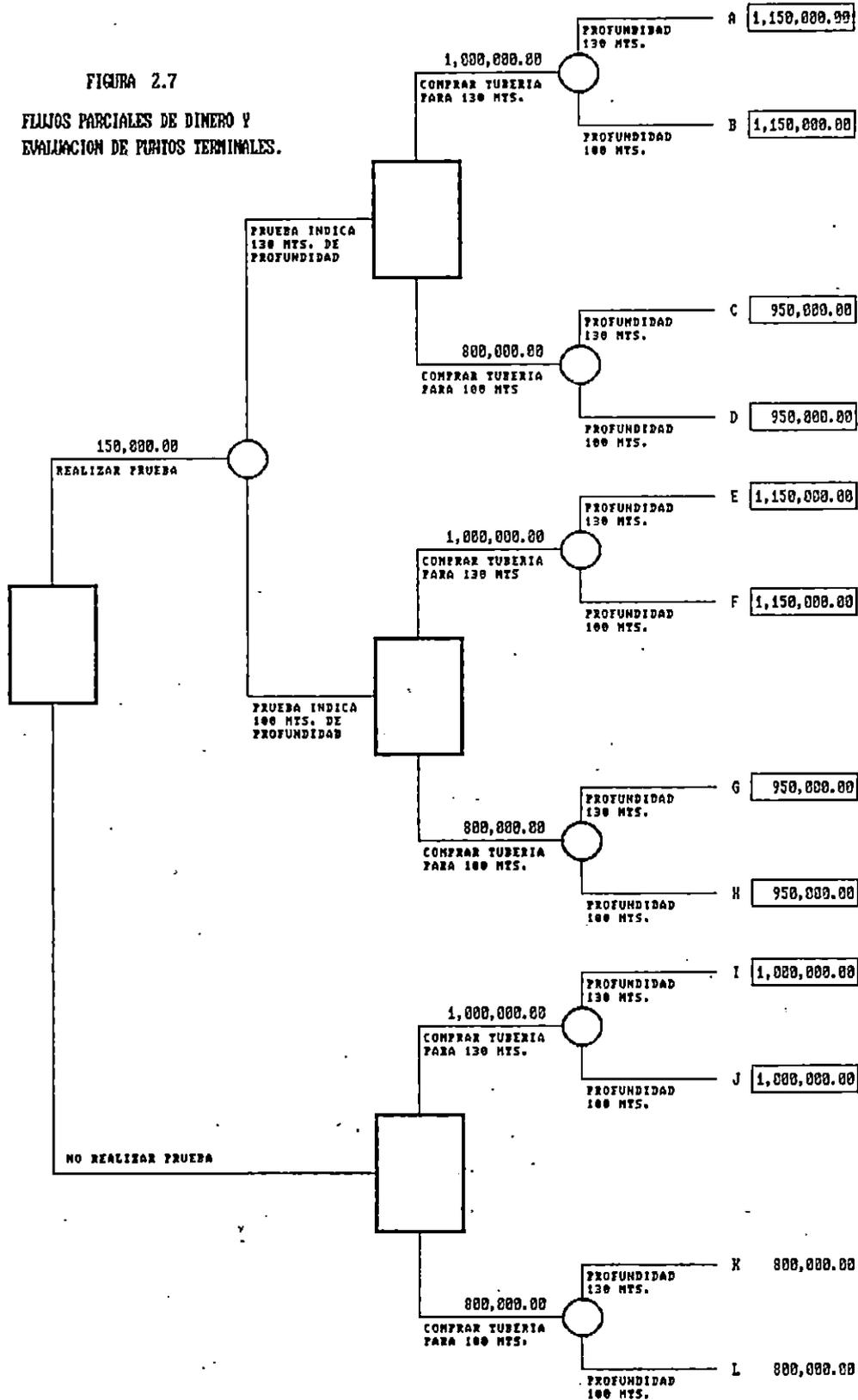
CUADRO 2.1

#### COSTO DE TUBERIA CIEGA

LONGITUD DE TUBERIA	COSTO
Tubería de 130 mts.	¢ 1,000,000
Tubería de 100 mts.	¢ 800,000

Los costos de las diferentes ramas del Arbol de Decisiones y la evaluación de los puntos terminales se muestran en la Fig. 2.7.

**FIGURA 2.7**  
**FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y**  
**EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES.**



#### 2.4.7 Asignación de Probabilidades

De información obtenida por medio de personas conocedoras de este tipo de problemas, se han determinado los siguientes valores de probabilidad.

CUADRO 2.2  
PROBABILIDAD SUBJETIVO DE RESULTADOS DE  
LA PRUEBA (POZO DE EXPLORACION)

RESULTADO DE LA PRUEBA	PROBABILIDAD
Prueba indica 130 mts	0.7
Prueba indica 100 mts	0.3

CUADRO 2.3  
PROBABILIDAD SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL  
NIVEL FREATICO EN LA ZONA

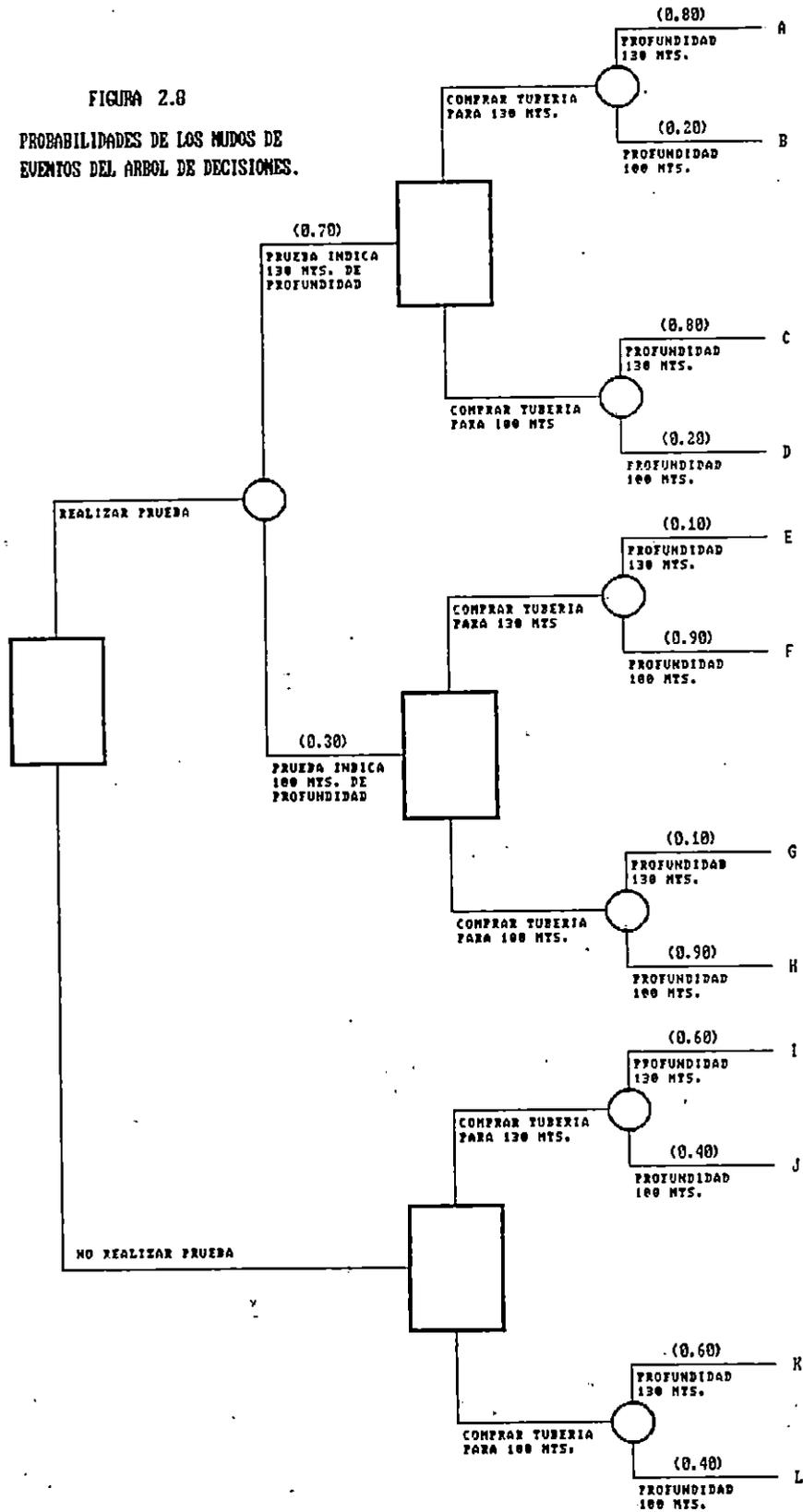
PROFUNDIDAD	PROBABILIDAD
100 mts	0.4
130 mts	0.6

CUADRO 2.4  
PROBABILIDAD SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO  
EN BASE A LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA

RESULTADO DE LA PRUEBA	PROBABILIDAD DE QUE LA PROFUNDIDAD SEA DE 100 MTS.	PROBABILIDAD DE QUE LA PROFUNDIDAD SEA DE 130 MTS.
Prueba indica profundidad 100 mts	0.9	0.1
Prueba indica profundidad 130 mts	0.2	0.8

Obtenidas las probabilidades, éstas se asignan en las ramas que salen de los nudos de Azar como se muestra en la Fig. 2.8

FIGURA 2.8  
 PROBABILIDADES DE LOS NUDOS DE  
 EVENTOS DEL ARBOL DE DECISIONES.



### 2.4.9 Evaluación Final

En la evaluación final del árbol de decisión, para obtener la mayor estrategia (que minimice los costos), utilizarán los dos métodos conocidos; es decir, el Equivalente Bajo Certeza (EBC) y el Valor Esperado Monetario (VEM).

#### 2.4.9.1 Equivalente Bajo Certeza (EBC)

El primer paso es construir la curva de preferencia, la que está en función del criterio del decisor.

Utilizando el método del Tetraedro:

a) Determinación de los límites superior e inferior

$$ls = 800,000 \quad li = \text{€ } 1,200,000$$

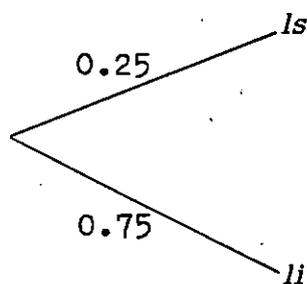
b) Asignación de valores de preferencia a  $ls$  y  $li$

$$P(ls) = 1 \quad P(li) = 0$$

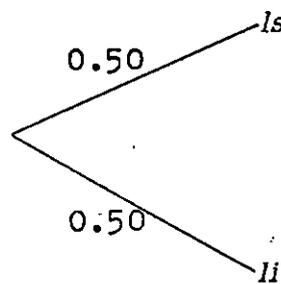
c) Pedir al decisor la asignación de sus EBC.

Para las siguientes loterías:

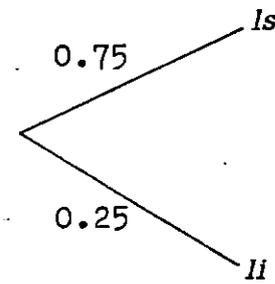
Lotería 1



Lotería 2

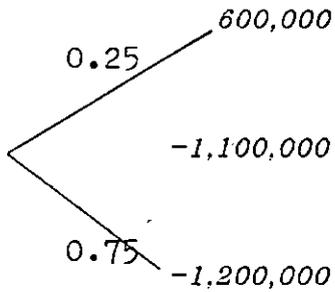


Lotería 3

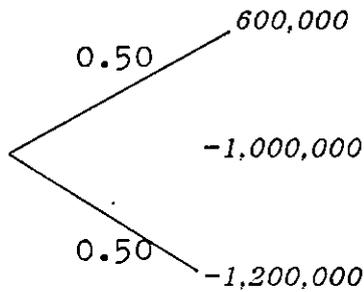


El decisor asigna los siguientes EBC

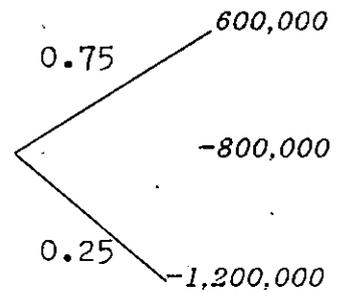
Lotería 1



Lotería 2



Lotería 3



d) Las preferencias para los equivalentes bajo certeza, de las loterías anteriores son:

Para:  $-1,100,000 = 0.25$

$-1,000,000 = 0.50$

$-800,000 = 0.75$

e) Construcción de la Gráfica.

Con los valores obtenidos en los literales a y d se procede a elaborar la curva de preferencia.

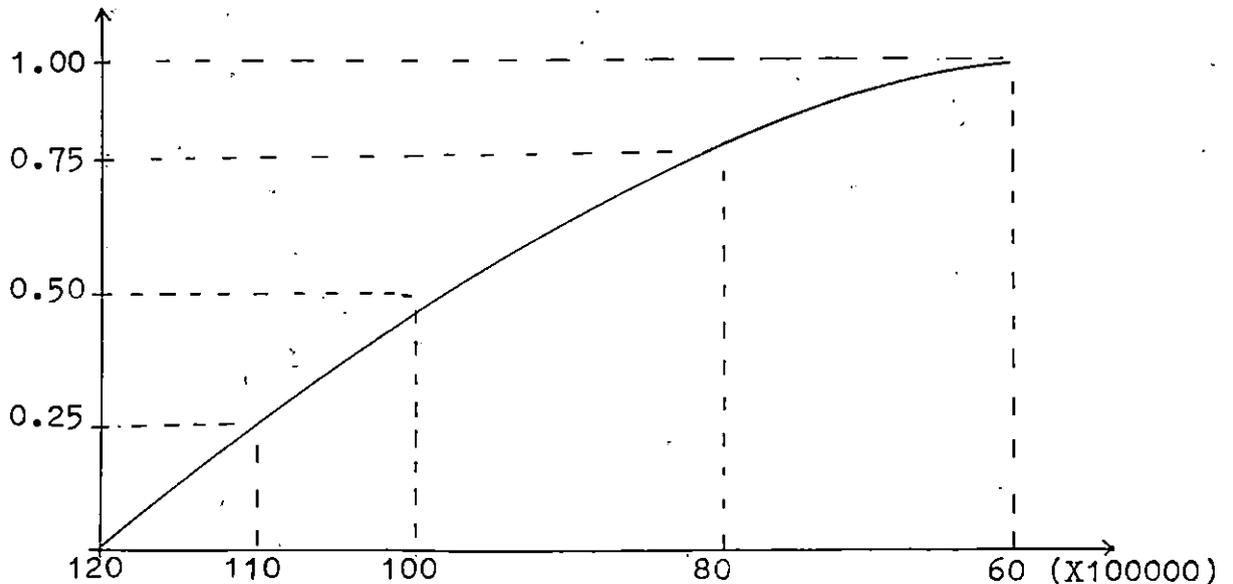


Figura 2.9

CURVA DE PREFERENCIAS

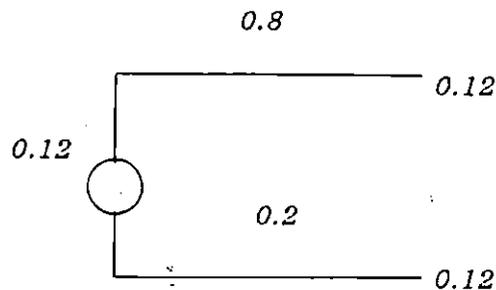
Según la concavidad de la curva de preferencias, el decisor tiene aversión al riesgo.

La función de esta curva es la de sustituir los valores monetarios de los puntos terminales, por valores de preferencia.

Obtenidas las preferencias de la Fig. 2.9, éstos se trasladan a los puntos terminales del Arbol de Decisiones junto con las probabilidades de los diferentes nudos de eventos como se muestra en la Figura 2.10.

A continuación se calculan para cada punto de incertidumbre, la preferencia esperada, multiplicando la preferencia de cada punto terminal por la probabilidad de la rama, sumando este resultado para todas las ramas que salen de un mismo nudo de evento. El valor que se obtiene se sustituye por el punto o nudo de evento.

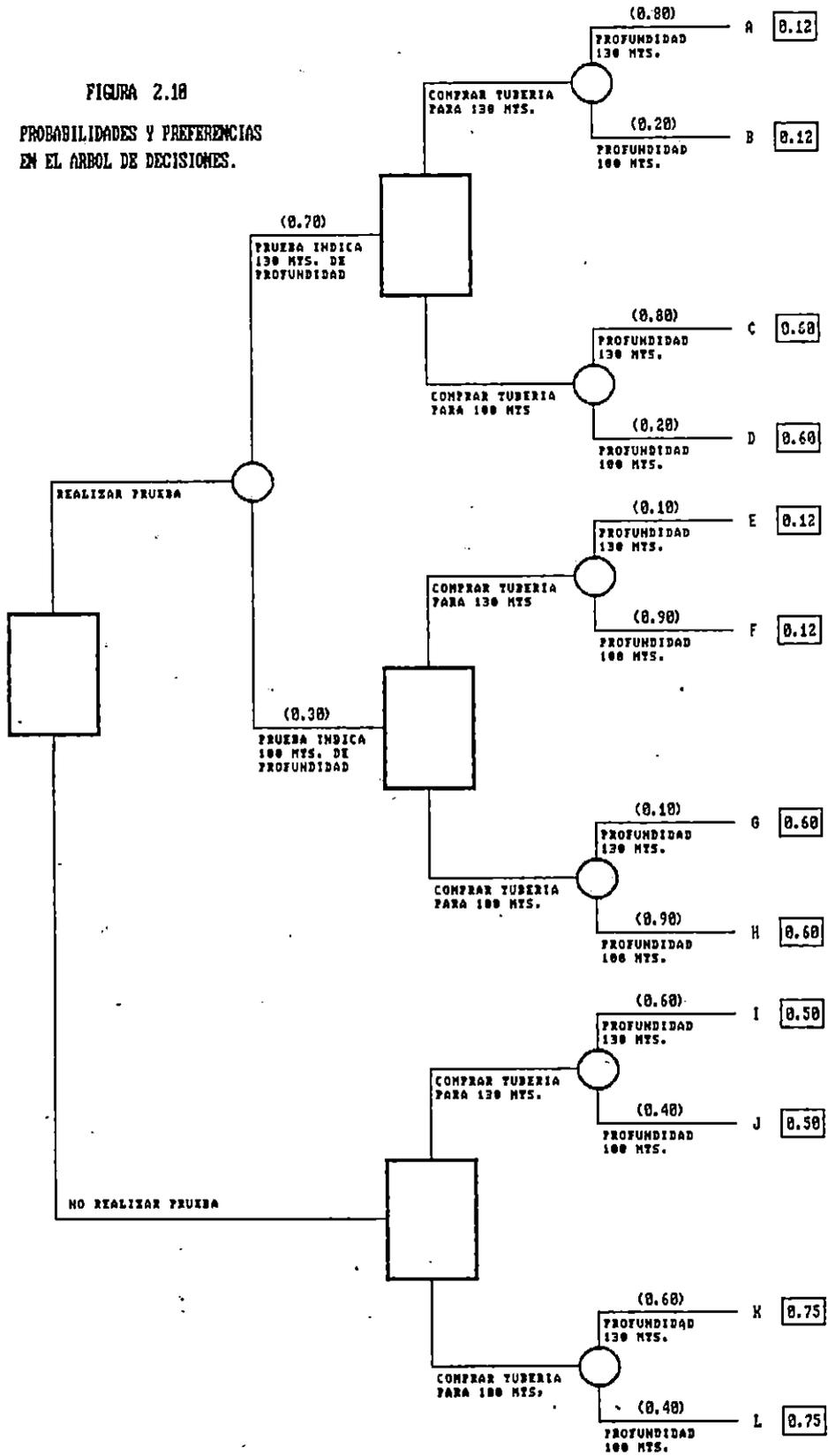
Para ejemplificar este procedimiento de la Fig. 2.10 se toma el nudo de evento cuyas ramas salen de el, finalizan en los puntos terminales A y B.



$0.12 \times 0.8 + 0.2 \times 0.12 = 0.12$  Colocándose este valor en el nudo de evento como se muestra en la figura anterior.

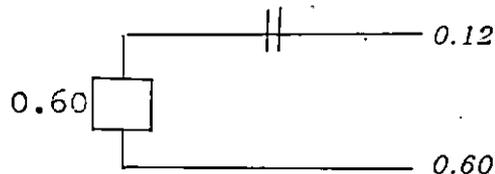
Cuando se llega a un nudo de decisión, se selecciona el acto que maximiza

FIGURA 2.18  
 PROBABILIDADES Y PREFERENCIAS  
 EN EL ARBOL DE DECISIONES.



la preferencia y cerrando por medio de línea paralelas las demás rutas.

Como ejemplo de este proceso se toma de la Fig. 2.10 el último nudo de decisión, de la ruta que representa, realizar la prueba y el resultado de ella indica 130 mts de profundidad, la cual se muestra en la siguiente figura.



Siendo 0.60 el valor que en este nudo de decisión maximiza la preferencia, colocándose como se muestra en la figura anterior en el nudo de decisión.

Estos procedimientos continúan de igual forma hasta llegar al punto de decisión inicial de donde se obtiene la estrategia óptima. Los resultados de la evaluación se muestran en la Fig. 2.11 de donde se tiene que la estrategia óptima a implementar es la que se muestra a continuación.

FIGURA 2.12

ESTRATEGIA OPTIMA

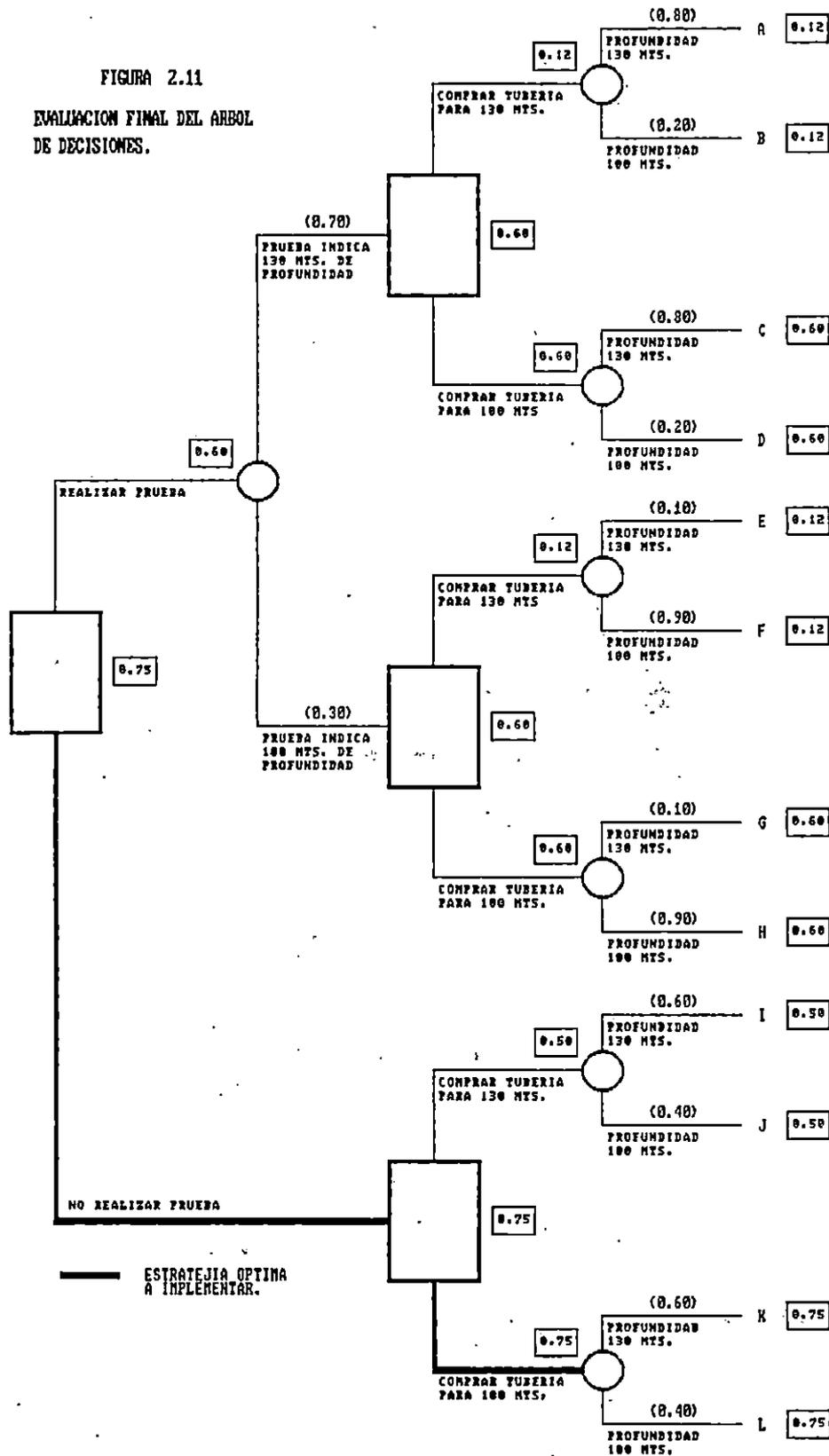


2.4.9.2 Valor Esperado Monetario (VEM)

La evaluación del Arbol de Decisiones por medio del VEM tiene como objeto al igual que en el método anterior, obtener la estrategia óptima, el cual consiste en lo siguiente:

- a) Asignación en los puntos terminales de cada rama de los costos

FIGURA 2.11  
EVALUACION FINAL DEL ARBOL  
DE DECISIONES.



ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR.

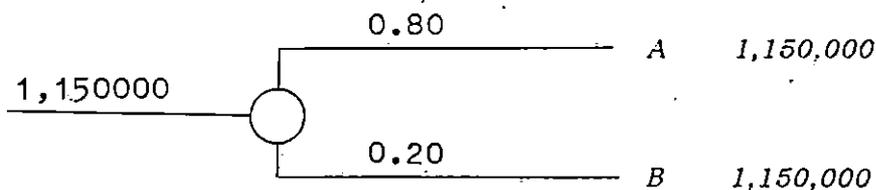
monetarios de cada uno de las estrategias. Ver figura 2.7

b) Asignación en las ramas que parten de un nudo del azar las probabilidades de ocurrencia. Ver figura 2.8

c) Estando en los extremos del Arbol se procede marcha atrás utilizando 2 mecanismos:

c-1) Cálculo del valor esperado en cada nudo del azar.

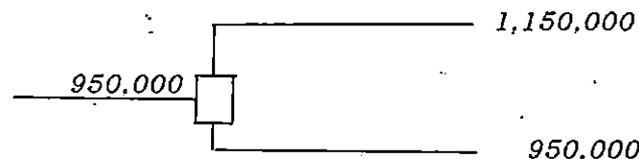
Para ejemplificar este procedimiento, se toma de la Fig. 2.13 el nudo de evento, cuyas ramas salen de el, finalizan en los puntos terminales A y B.



$1,150,000 \times 0.8 + 1,150 \times 0.2 = 1,150,000$  Colocándose este valor en el nudo de evento como se muestra en la figura anterior.

c-2) Proceso de elección de la ruta hacia el máximo valor futuro cuando las cantidades que aparecen en el presente caso, por ser cortos los valores monetarios se selecciona el menor VEM.

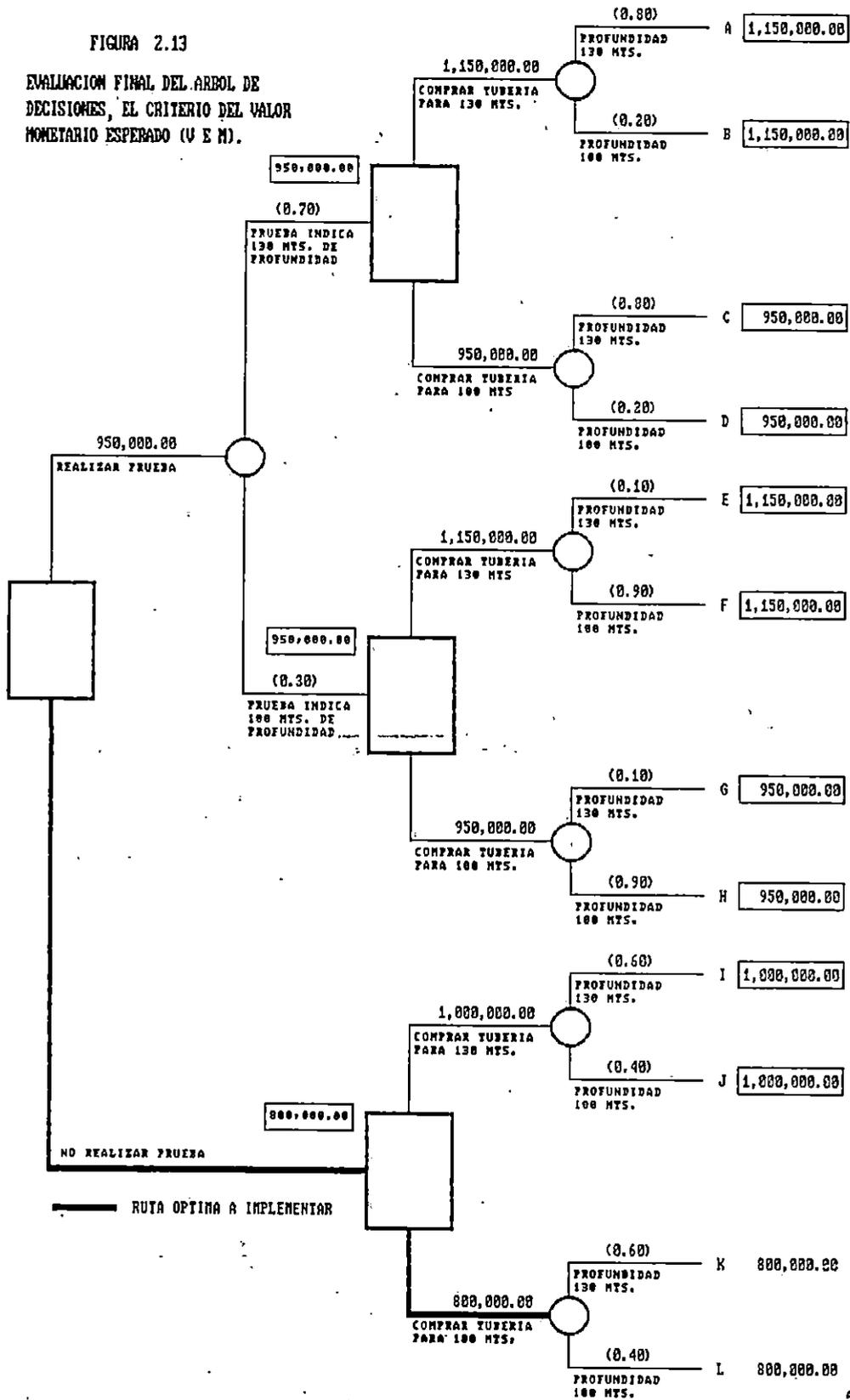
Para ejemplificar este proceso se toma de la Fig. 2.13 el último nudo de decisión de la ruta que representa realizar la prueba y el resultado de ella indica 130 mts de profundidad, lo cual se muestra en la siguiente figura.



Siendo  $\epsilon$  950,000 el menor VEM para este nudo de decisión, el cual es

FIGURA 2.13

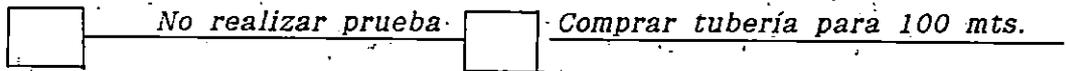
EVALUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES, EL CRITERIO DEL VALOR MONETARIO ESPERADO (V E M).



colocado en el nudo como se muestra en la figura anterior.

Continuándose con este mecanismo hasta llegar al primer nudo de decisión, ver figura 2.13 de donde es seleccionada la estrategia óptima, la cual es lo que se muestra a continuación.

FIGURA 2.14  
ESTRATEGIA OPTIMA



La ruta óptima continua siendo la misma que la obtenida por medio del método del Equivalente Bajo Certeza (EBC).

### 2.5 LA TEORIA DE DECISIONES Y LOS DESASTRES NATURALES

La aplicación de la Teoría de Decisiones para el caso de los desastres naturales, se hace al igual que en todos los casos donde se aplique esta teoría; formulando una descripción del problema, estableciendo los objetivos que se persiguen, criterios de evaluación, período de análisis y la representación de las diversas estrategias por medio de un Arbol de Decisión.

En este árbol se colocan todos los actos y eventos que se deben considerar para tratar un problema en particular.

En los nudos de eventos o nudos de azar, se deben colocar las probabilidades, que por lo general, para el caso de los desastres naturales, se obtienen de registros históricos, dependiendo de la naturaleza del problema, como pueden ser: estadísticas sobre fenómenos metereológicos de gran magnitud (máximas intensidades de lluvias, huracanes, clima, etc), terremotos, erupciones volcánicas,

etc.

*Se pueden asignar probabilidades subjetivas en eventos donde no se tenga mayor información, las que dependen de la experiencia del decisor y del problema específico a tratar, con sus diferentes estrategias de solución.*

*El período de análisis, dependerá de los registros históricos que se tengan sobre los fenómenos naturales en interés.*

*Los objetivos o resultados buscados, por lo general son múltiples, por ejemplo: sociales (salvar vidas humanas), económicos (evitar destrucción de infraestructura nacional), políticos (prestigios personales), etc.*

*El método de evaluación estará sujeto a los valores finales, es decir, si son resultados monetarios o resultados medidos en otra unidad.*

#### 5.1 LA TEORIA DE DECISIONES Y LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

*Para el caso particular de los deslizamientos de tierra, el Arbol de Decisiones que se construya dependerá del problema en interés, es decir, no se puede construir un Arbol de Decisiones general para todos los deslizamientos.*

*La forma de este árbol depende de varios factores, entre éstos: las causas que originan un deslizamiento y los efectos que este tiene; ya que conociendo estos factores inmersos en un deslizamiento de tierra, así serán las estrategias de solución para lograr un objetivo o varios objetivos específicos.*

*Por lo general lo que se busca en este tipo de problemas es minimizar el impacto en pérdidas de vidas humanas y en la economía nacional.*

*Las causas se enmarcan en dos contextos: uno natural y otro social. Entre las causas naturales se pueden mencionar: la topografía del terreno, geología, uso del suelo, vegetación, régimen de lluvias, etc. Entre las sociales se tienen: la pobreza extrema, marginalidad, migraciones internas, etc.*

*El efecto de un deslizamiento de tierra depende de la capacidad de absorción que tengan las estructuras políticas, sociales y económicas de la nación.*

*En el Arbol de Decisión se representan todos los actos y eventos que se deben considerar, con las diferentes estrategias de solución, buscando uno o varios objetivos determinados.*

*Las probabilidades que se asignen a las diferentes ramas de los nudos de azar, así como el período de análisis, dependen básicamente de registros históricos y de condiciones particulares de la región.*

*La evaluación final será criterio del decisor; es decir, puede adoptar el Método del Valor Esperado Monetario (VEM) o el método del Equivalente Bajo Certeza (EBC).*

### *2.5.2 La Teoría de Decisiones y las Inundaciones*

*Es otro caso de aplicación de la teoría de decisiones, en donde el Arbol de Decisión es particular para cada problema en estudio.*

*La forma de este arbol al igual que en el caso de los deslizamientos dependerá de varios factores, entre éstos: la zona donde se da el desastre, causas por las que se da (geología de la zona, intensidad de lluvias, condiciones morfológicas, sismicidad, vulcanismo, uso del suelo, vegetación, alteraciones del equilibrio natural causadas por el hombre, nivel de vida de la población, etc). Así como el impacto o efecto que éste tenga en el orden social (pérdidas de vidas humanas), económico (destrucción de viviendas, destrucción de infraestructura pública, cultivos inundados, etc), destrucción ecológica (flora y fauna) y el impacto político.*

*Conociendo las causas por las que se da una inundación y los efectos que*

esta tiene, se definen los objetivos o resultados deseados para darle solución a este problema específico.

Dependiendo de los resultados buscados así serán todos los actos y eventos que se colocarán en el árbol de decisión.

Al analizar un problema de inundación, por lo general, lo más importante que se busca es evitar pérdidas de vidas humanas, así como pérdidas económicas y partiendo de estos objetivos buscados, así serán las diferentes estrategias a considerar en la elaboración del Arbol de Decisiones.

Estas estrategias pueden ser: construcción de obras de protección, evacuación de la población, desvío del cauce de un río a una zona de poca importancia económica. construcción de viviendas más seguras, etc).

El período de análisis y las probabilidades que se asignen a los diferentes nudos de azar, dependen básicamente de los registros históricos que se tengan de las crecidas máximas y las intensidades pluviales de la zona.

La evaluación final estará sujeta al criterio que adopte el decisor, es decir, si trabaja con el VEM o con el EBC.

CAPITULO III  
APLICACION DE LA TEORIA DE LAS DECISIONES A LOS  
DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

3.1 GENERALIDADES

*Un deslizamiento de tierra puede ser originado por un gran número de causas mecánicas. En terrenos bajo condiciones de reposo, el rasgo más común se debe a la pendiente, dado que la fuerza gravitacional tangencial a la superficie por peso propio genera tensiones de corte, ésta realizará trabajo, luego que supere la condición de equilibrio, poniendo en movimiento la masa de suelo, produciéndose entonces el deslizamiento de tierra. En la mayoría de casos las aceleraciones laterales de un movimiento sísmico y/o eventos meteorológicos de gran magnitud, pueden, sobre superficies inclinadas, debilitar la fuerza cortante y causar deslizamientos de tierra. (11)*

*Para el estudio y tratamiento de estos problemas, se hace necesaria una clasificación de los distintos tipos de deslizamientos de tierra; una forma de clasificación es por la naturaleza del material que interviene. Así, ciertos deslizamientos están compuestos de material rocoso (llamado flujo de escombros), otros solamente de suelo; y los producidos por eventos meteorológicos que son una combinación de agua, roca o suelo (llamados flujos de lodo).*

*El deslizamiento que se produjo en Septiembre de 1982 en El Picacho (que forma parte del volcán de San Salvador), se clasifica como "Flujo de Lodo", ya que fue una combinación de agua, rocas y suelo.*

*Los flujos de lodo tienen una forma de comportarse verdaderamente única, así como también tienen propiedades particulares. Pueden transportar rocas de cientos de toneladas de peso. Una vez iniciado su movimiento, pueden*

desplazarse continuamente a grandes distancias (más de 30 Kms) aún con pendientes bajas del 5 al 10 por ciento.

En pendientes volcánicas estos flujos de lodo típicamente se mueven en el rango de 15 a 20 km/hora y una de sus características es que desplazan ondas inclinadas frontales o crestas que alcanzan los 12 mts de alto, donde la fracción de tamaños más grandes, sin finos, es concentrada.

En general, estos flujos son muy turbulentos. (11) Los flujos de lodo ya depositados, cuando se saturan, son extremadamente susceptibles a ser movilizados por otros flujos de esta misma naturaleza que pasan encima de los ya depositados. Es por eso que defensas para flujos de lodo construidas con materiales similares son relativamente inapropiadas al menos que se diseñen adecuadamente. Los flujos de lodo en su mayor parte se inician por deslizamiento de masas saturadas ricas en limos, éstos ocurren donde hay nacimiento de agua o a lo largo de canales de corriente. También se originan debido a movimientos de tierra, especialmente bajo condiciones de saturación que se asocian con lluvias intensas, como sucedió en el cerro El Picacho.

Los flujos de lodo son extremadamente peligrosos debido a su repentina movilización, altas velocidades, gran espesor, comportamiento de ondas y alta densidad.

Por lo tanto, el estudio y tratamiento para un flujo de lodo, debe ser específico y no confundirse con los flujos de escombros o con corrientes de agua que tengan una alta cantidad de sedimentos en suspensión. Medidas de control que son efectivas para estos tipos de fenómenos, resultan contraproducentes en el caso de usarlas para controlar flujos de lodo. (11).

### 3.2 ANTECEDENTES DEL CASO

En Septiembre 17,18 y 19 de 1982 se precipitaron sobre las pendientes del cerro El Picacho, más de 350 mm de lluvia. (8) A pesar de que estos suelos volcánicos no cohesivos son altamente permeables, las lluvias excepcionalmente intensas de entonces fueron capaces de saturarlos.

En la parte alta del Volcán, cerca de la cresta donde fue construido un camino de acceso a unas antenas de T. V., a través de la parte alta de la cuenca de drenaje de la quebrada El Nispero, se produjo un deslizamiento debido al material de corte depositado al lado del camino mencionado.

Las pendientes en esa zona son mayores de 45°. Pendientes de esta naturaleza son mayores que las que le corresponden al ángulo de reposo de materiales incoherentes y se puede decir que los materiales se retuvieron, aún con esa pendiente solo por el esfuerzo de tensión al cual estaba sujeto el sistema de raíces de la vegetación que ahí se encontraba.

El peso mecánico adicional y la presión de poros excesiva que se ejerció sobre los materiales de fundación, por los materiales de desperdicio de la calle, además de la carencia de infraestructura diseñada para controlar escorrentía intensa proveniente del camino construido, contribuyeron a la falla de la pendiente en ese punto. (11)

Los derrumbes abajo del camino construido añadieron cantidades sustanciales de materiales sólidos saturados a la quebrada El Nispero, y una vez iniciada la movilización en el fondo de la quebrada, se produjo un proceso de erosión y como consecuencia, se produjo deslizamiento tanto en la parte de arriba del fondo de la quebrada como también en las orillas de ésta.

Particularmente, las fallas ocurrieron en las orillas de la quebrada con insuficiente vegetación en zonas donde se desarrollaban actividades agrícolas, o donde estaba totalmente descubierto; también los caminos internos agravaron la

situación en las orillas del canal.

Bóvedas construidas transversalmente a la quebrada para el paso del camino, inevitablemente se taparon con grandes cantidades de materiales, como rocas y árboles; por lo que estos rellenos se convirtieron momentáneamente en diques, pasaron al estado líquido y se añadieron al flujo de lodo que corría hacia abajo.

A medida que estas masas de sólidos se saturaron repentinamente se añadieron al flujo. éste se aceleraba y daba vueltas en curvas con pendientes en ese canal de roca; y aún más el hecho de estar sujeto a constricciones el canal (ver Fig. 3.5), dicho flujo se convirtió en un sistema de ondas que han caracterizado a los flujos de lodo. Por lo menos tres o cuatro ondas de gran magnitud llegaron a la parte baja de la quebrada El Nispero, donde en particular, la Colonia Montebello sufrió con mayor impacto los efectos de este desastre, con un saldo estimado de 500 personas muertas y 40,000 personas sin hogar. (11).

En la Figura 3.1 se observa el cause de la quebrada El Nispero por donde fluyó el deslizamiento de tierra y, en las Figuras 3.2 y 3.3 se muestra el área afectada por este deslizamiento.

### 3.2.1 Causas Naturales que indujeron al evento.

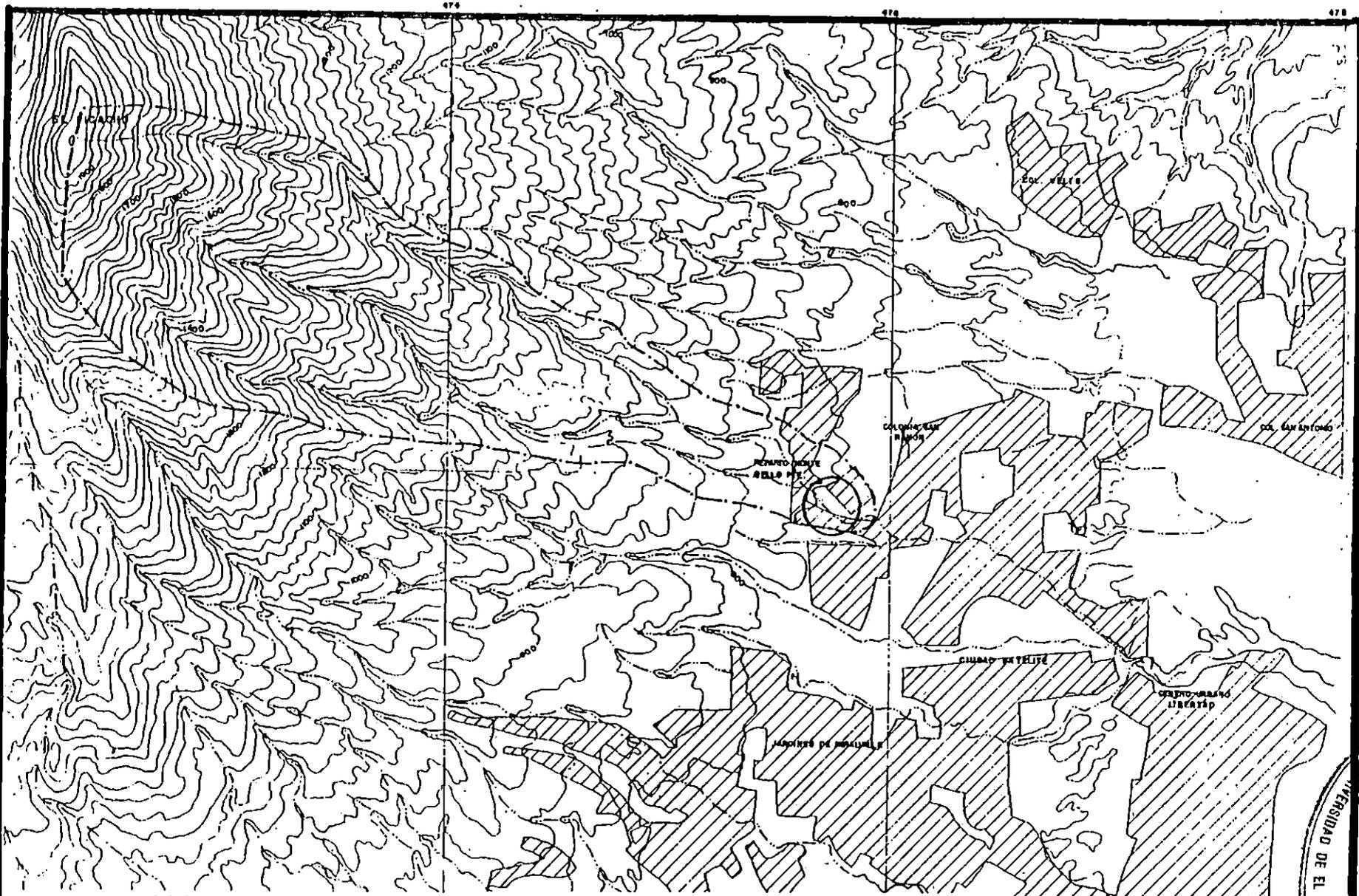
*Evento meteorológico de gran magnitud.*

En el período comprendido del 17 al 20 de septiembre de 1982, se registró en esta zona una precipitación de 350 mm de lluvia, que fue capaz de saturar los suelos altamente permeables del volcán de San Salvador; señalándose este evento como la causa principal del deslizamiento que se produjo en esa fecha.

El alto volumen de agua precipitada, acompañada de la permeabilidad secundaria, adquirida por el fracturamiento de las rocas, favoreció la infiltración



FIG. 3.1  
— FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA AFECTADA.  
FUENTE : REVISTA ASIA N.º 74 ( 1983 )



**SIMBOLOGIA**

-  BOO CURVA DE NIVEL, INDICANDO ELEVACION EN M. S.N.M.
-  QUEBRADA SECA O INTERMITENTE
-  POBLACION URBANA
-  DIVISORIA HIDROGRAFICA DE LA SUB-CUENCA AMATEZOC (AREA = 29 Km<sup>2</sup>)
-  LOCALIZACION DE LA ZONA AFECTADA

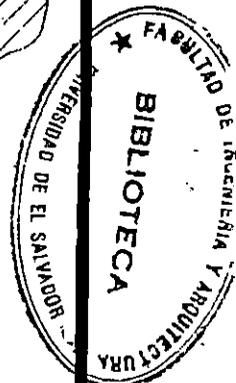
Figura No 3.2

MAPA TOPOGRAFICO DE LA FALDA ORIENTAL DEL VOLCAN DE SAN SALVADOR, INDICANDO LOCALIZACION DE ZONA AFECTADA POR LA AVALANCHA DEL 19/SEPT./82.



ESCALA 1:15000

FUENTE : REVISTA ASIA No 74 ( 1983 )



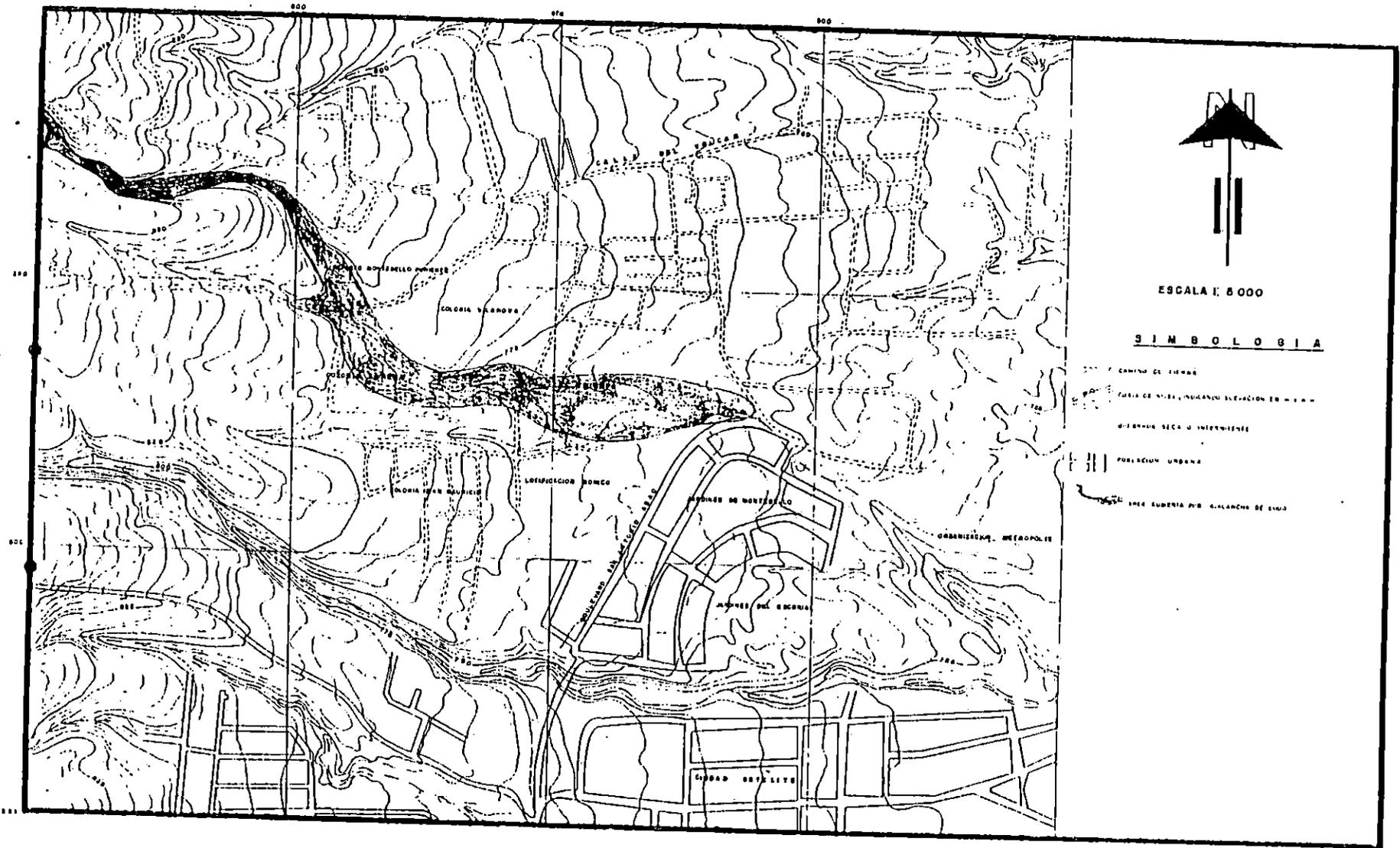


FIG. N.º 3.3  
 AREA AFECTADA POR EL DESLIZAMIENTO DE LODO.

FUENTE: REVISTA ASIA N.º 74 (1983)

y saturación no solo de las rocas si no también de los estratos geológicos incoherentes (lapilli y cenizas volcánicas).

De esta forma, una roca colocada en un plano de estratificación fuertemente inclinado y con grado bajo de cohesión se volvió propensa al deslizamiento. (8)

### 3.2.1.1 Estructura Geológica en las Capas Subyacentes.

A partir de uno o dos metros de profundidad, se encuentran capas o estratos geológicos incoherentes, y por lo tanto inestables, aún bajo condiciones normales de lluvia. En dichos estratos predominan escorias gruesas, finas, aglomerados (lapilli), capas de cenizas volcánicas y estratos de lava diaclasada por diversas causas.

Las escorias gruesas, finas y aglomeradas son muy permeables, pero debido a los grandes volúmenes de agua caídos en Septiembre de 1982, lograron saturarse y por consiguiente alcanzaron un poder de fluir hacia las partes más bajas.

Las cenizas volcánicas son de baja permeabilidad, sin embargo están propensas a la erosión por su bajo grado de compactación y cohesión.

### 3.2.1.2 Pendiente

El suelo saturado, el peso del bosque y los estratos geológicos con permeabilidad secundaria, al estar en un plano de estratificación fuertemente inclinado y con bajo grado de cohesión y compactación, originaron el deslizamiento de gran magnitud.

Es decir, que el material colocado en la parte superior del torrente, cada vez se fue saturando hasta transformarse en una masa lodosa, haciéndose progresivamente más fluida; y, debido a la inclinación del terreno, dicha masa

escurrió por el cause de la quebrada. En la medida que la pendiente se hacía más fuerte, el flujo de lodo adquiría más velocidad a tal grado que las paredes y el fondo del cause fueron erosionadas fuertemente. (8)

### 3.2.2 Causas Artificiales.

#### 3.2.2.1 Infraestructura Urbana

La no previsión de este tipo de desastres, y la inadecuada planificación de los espacios urbanos y uso de la tierra de acuerdo a las condiciones físicas prevalecientes generan construcciones de nuevas colonias en zonas de alto peligro, como es el caso de Montebello; siendo una de las causas por lo que estos desastres se sienten con mayor impacto.

La Colonia Montebello fue construida en el cono de deyección de la quebrada El Níspero, y no existía ninguna medida de prevención para un fenómeno de esta naturaleza. (8)

#### 3.2.2.2 Camino de Tierra

A una altura de 1870 m.s.n.m. existe el camino de tierra de 5 mts. de ancho, el cual cruza transversalmente la cuenca de recepción del torrente El Níspero; se considera que esta situación ha desarmonizado en cierto grado el equilibrio en que se encontraba la naturaleza. Actualmente el camino mencionado se localiza en la cabecera del deslizamiento, ubicado a menos de 100 mts de las instalaciones de telecomunicaciones; dicho camino se sale de la subcuenca y se extiende hasta la parte baja de El Picacho por el rumbo Norte, en el cual se produjeron numerosos deslizamientos laterales durante el mes de septiembre de 1982. El mal diseño y construcción de camino, han contribuido en gran medida en el aceleramiento de los procesos erosivos en las partes alta y media de las

subcuencas del volcán de San Salvador.

### 3.3 APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL DESLIZAMIENTO DE TIERRA, OCURRIDO EN LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA EL NISPERO.

#### Introducción

La aplicación de la teoría de decisiones a través de la construcción del árbol de decisiones, es la herramienta básica para tomar una decisión sobre qué hacer en la búsqueda de soluciones para un problema en particular.

Es decir, a través de la evaluación del diagrama se obtiene la estrategia que será la solución para alcanzar ciertos objetivos buscados.

Para el caso del deslizamiento de tierra ocurrido en la subcuenca El Nispero y cuyos efectos fueron sufridos por las colonias: Montebello Poniente, San Ramón, Santa Juanita, Santa Margarita, Lorena, El Triunfo, Barrera, etc., fundamentalmente los objetivos que se persiguen son el de salvar vidas humanas y evitar la destrucción de infraestructura en el lecho de deyección, para no lamentar una nueva tragedia de esta naturaleza. Como solución para alcanzar dichos objetivos se cuenta con cuatro estrategias, que se muestran en el árbol de decisión, es de donde se obtendrá después de la evaluación la estrategia que garantice el cumplimiento de los mismos.

#### 3.3.1 Descripción del Problema.

Después del deslizamiento de tierra, en la Colonia Montebello en septiembre de 1982, la amenaza de un nuevo desastre de este tipo, aún persiste, ya que tanto la quebrada El Nispero como quebradas al Norte y al Sur, están ahora en condiciones mucho más inestables que en las que se encontraban en dicha fecha, como resultado del flujo de lodo que ocurrió en este período y que socavó áreas

originalmente consideradas estables hasta antes del deslizamiento.

El problema se agrava, por la continua deforestación de grandes áreas en el volcán de San Salvador, las que se han vuelto inestables al usarlas como tierras agrícolas, lo que antes era arboleda natural.

Por otra parte, la construcción del camino que conduce a las antenas de T.V., ubicadas en la cresta del Picacho, sigue constituyendo una amenaza potencial para que este desastre se repita, ya que rompe el equilibrio natural, en el que se encontraba la zona del volcán de San Salvador. En la parte baja de la quebrada El Níspero; en el sector de la Colonia Montebello se han construido alcantarillas y bóvedas que no tienen la capacidad hidráulica para permitir el paso de avenidas grandes provenientes de la parte alta de la subcuenca; cuyo diseño no es solamente inadecuado para el paso de materiales provenientes de un flujo de lodo, sino que son definitivamente contraproducentes.

Estas estructuras al ir acumulando material acarreado por el flujo, terminarán totalmente taponeadas, fallarán y se constituirán en parte del ya formado flujo de lodo. (11)

En este sentido, un nuevo flujo de lodo se puede presentar con cantidades de lluvias similares a las precipitadas en septiembre de 1982, cuyos efectos podrían provocar nuevamente una tragedia en los asentamientos urbanos ubicados en el cono de deyección de la quebrada El Níspero, a una altura de 790 msnm, constituido principalmente por las Colonias: Reparto Montebello Poniente, Vilanova, Lorena, Reparto El Triunfo, San Mauricio, Lotificación Mónica, Santa Juanita y Santa Margarita.

Con el objetivo de evitar o disminuir el impacto de un nuevo deslizamiento de tierra se proponen varias estrategias de solución, entre las cuales el tomador de decisiones tendrá que seleccionar una de ellas.

Las estrategias son las siguientes:

#### 3.3.1.1 Estrategia 1 (E-1)

Construcción de gaviones transversales para la parte alta de la quebrada El Níspero. (como se muestran en la Figura 3.4,) con el propósito de reducir la velocidad y la energía de un nuevo flujo de lodo y también para disminuir el grado de erosión del fondo de la quebrada.

Por otra parte, construir un muro de retención de concreto de gran magnitud, mostrado en la Figura 3.5, con el objeto de proteger las pendientes de las partes altas de la quebrada.

Estas estructuras deben de cumplir la función de disminuir el impacto en el cono de deyección, ante la presencia de un nuevo flujo de lodo. (11)

(Estrategia presentada por ISREN, MAG; propuesta no ejecutada).

Con el objeto de minimizar el riesgo y/o el impacto, de un nuevo deslizamiento de tierra, el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.), propone dos estrategias de solución, las que se detallan en los numerales 3.3.1.2 y 3.3.1.3.

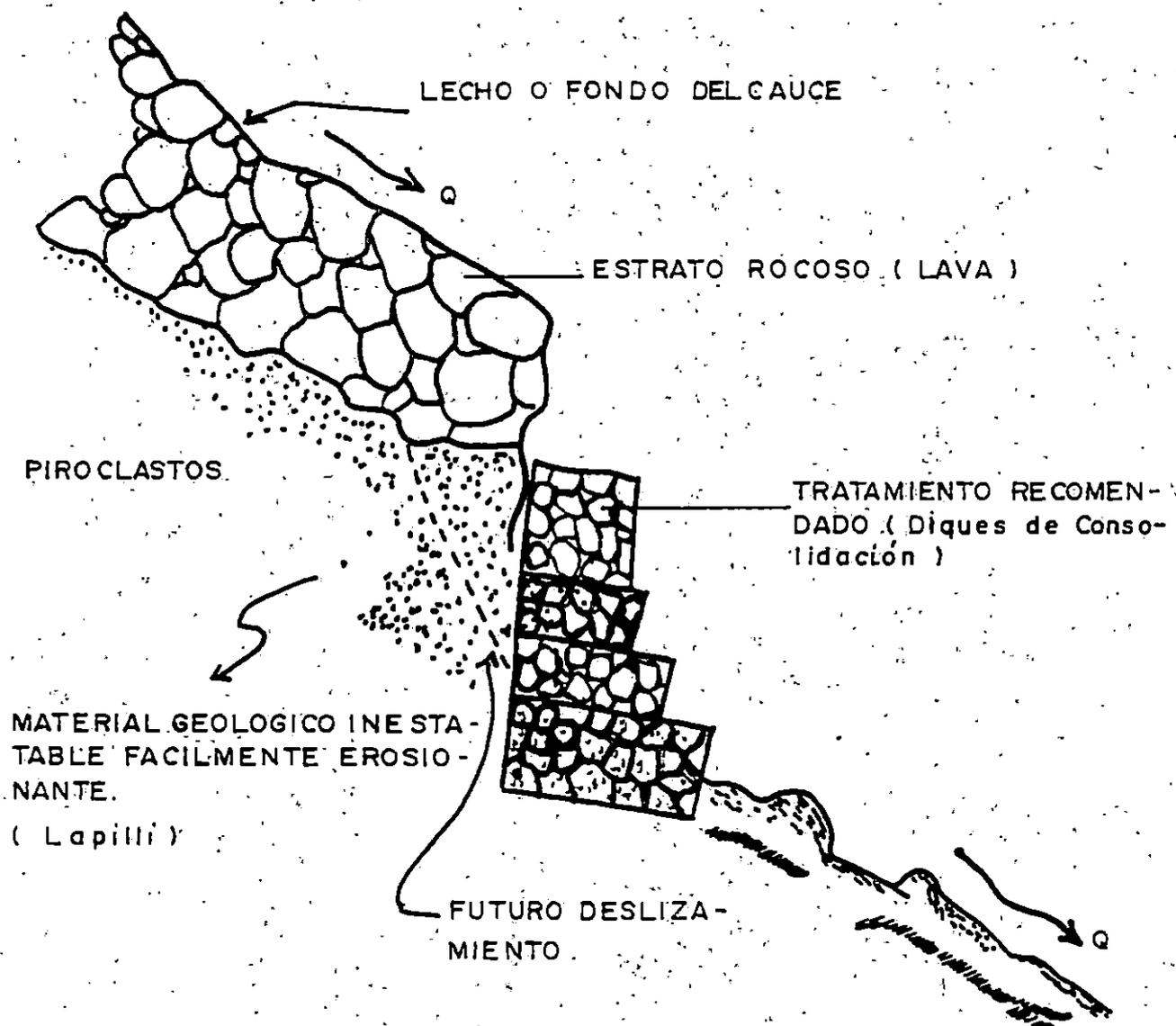
#### 3.3.1.2 Estrategia 2 (E-2)

La primera estrategia consiste en la construcción de un canal abierto de concreto, sobre la quebrada El Níspero, ubicado como se muestra en la Figura 3.6, con un ancho en la base de 7 mts y 1.8 kms de longitud.

En la parte baja de la quebrada se construirá el canal de concreto en una serie de gradas, cada una de ellas con pendientes suaves, pero en general manteniendo un gradiente igual al de la quebrada natural; con el propósito de disminuir la velocidad y por consiguiente sedimentar materiales arrastrados por un nuevo flujo de lodo. (11) (Estrategia no realizada hasta la fecha).

FIG. 3.4

DIQUES DE CONSOLIDACION TRANSVERSAL AL CAUCE, EN LA GARGANTE DEL TORRENTE PARA PROTECCION DE CAIDAS NATURALES CON TALUDES INESTABLES /.



FUENTE : INFORME SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN COLONIA MONTEBELLO . MIPLAN . 1983

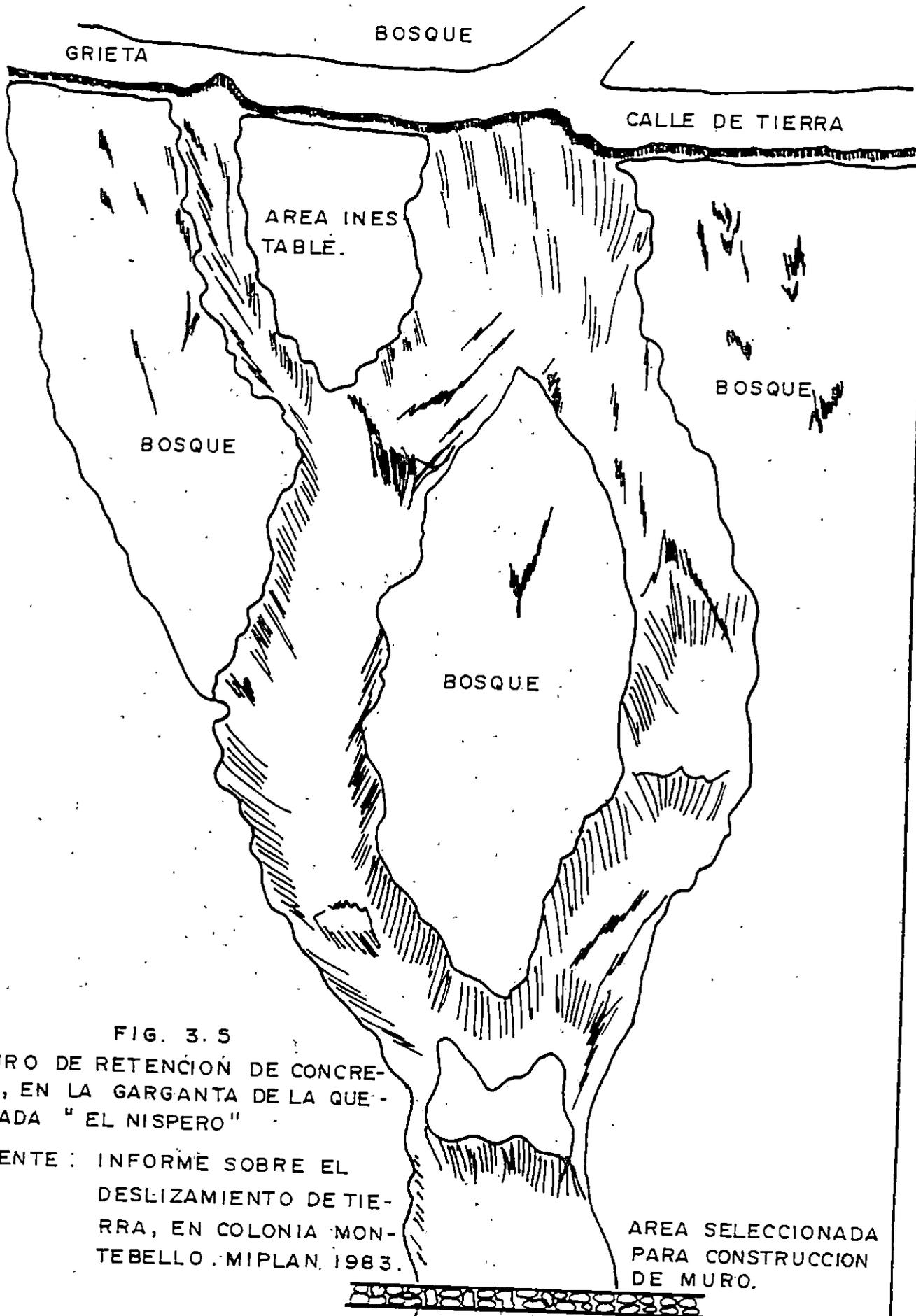


FIG. 3.5  
 MURO DE RETENCIÓN DE CONCRETO, EN LA GARGANTA DE LA QUEBRADA " EL NISPERO "

FUENTE : INFORME SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA, EN COLONIA MONTEBELLO. MIPLAN. 1983.

AREA SELECCIONADA PARA CONSTRUCCION DE MURO.

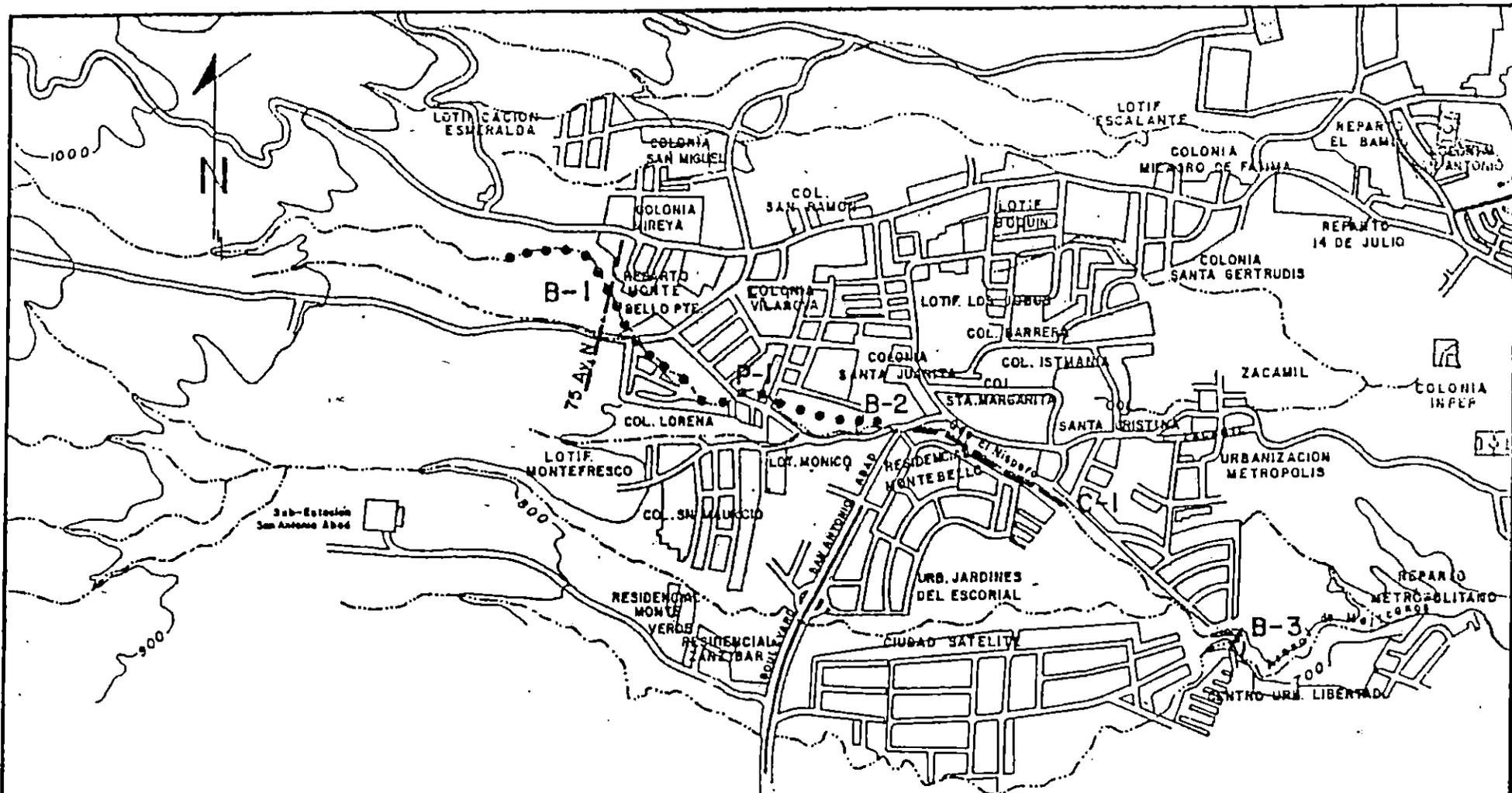


FIG. No. 3.6  
 UBICACION DE CANAL ABIERTO DE CONCRETO.  
 SOBRE CAUCE NATURAL DE LA QUEBRADA EL NISPERO  
 FUENTE: SEMINARIO TECNICO SOBRE  
 ALUVIONES. MIPLAN. 1983

SIMBOLOGIA

● ● ● CANAL 1ª PARTE

--- CANAL 2ª PARTE

ESCALA 1:15,000

### 3.3.1.3 Estrategia 3. (E-3)

La otra alternativa presentada por el M.O.P., consiste en la ejecución de las siguientes medidas de protección.

#### *Tratamiento para la Cuenca de Recepción.*

Construcción de diques de consolidación gavionados en la cabecera del deslizamiento, con el propósito de proporcionarle una protección y rehabilitación adecuada al camino de tierra y a la vez asegurar una protección a las instalaciones de comunicaciones ubicadas a 100 mts del inicio del deslizamiento. Estos gaviones deben tener un volumen total de 500 m<sup>3</sup>, construidos en dos sectores, sector norte y sector sur, los cuales deben ser construidos en forma de gradas, como el mostrado en la Figura 3.7.

Para cimentar la estructura gavionada en 12 mts de longitud se debe construir un muro de mampostería hidráulica de un volumen de 50 mts cúbicos.

En la misma zona se debe realizar un tratamiento mecánico vegetativo que consiste en:

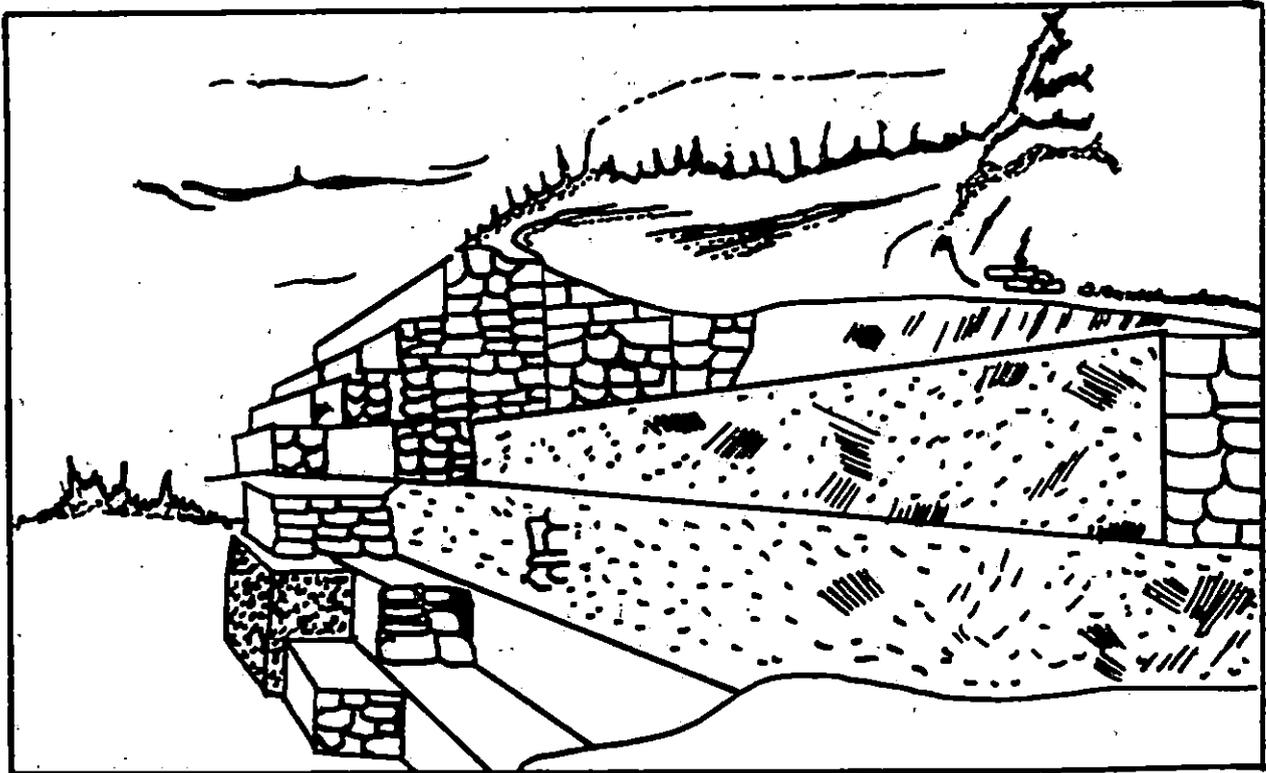
#### *Tratamiento Mecánico (terrazas tipo bancal principal).*

Construcción de bancos o banquetas en forma transversal a la pendiente del deslizamiento con sus respectivos taludes protegidos con vegetación herbácea; su función es la de interceptar la escorrentía superficial y encausarla hacia un drenaje estabilizado. Este tratamiento deberá ser ubicado aguas abajo del inicio del deslizamiento hasta llegar a la parte baja de la llamada isla.

#### *Terrazas Tipo Bancal Secundario.*

Debe ser un tratamiento intermedio de las terrazas principales, cuya

FIG. 3.7  
GAVION PRINCIPAL SECCION NORTE



FUENTE: INFORME SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN  
COLONIA MONTEBELLO. MIPLAN. 1983

*finalidad es proteger la longitud de los taludes de las terrazas principales.*

*Sellamiento de Grieta y Protección de Camino de Tierra.*

*Este tratamiento consiste en el relleno y compactación con una mezcla de suelo-cemento con una proporción de 1:20 en una longitud de 45 mts, de 2 mts de ancho y 2 mts de profundidad. Estas grietas se encuentran localizadas paralelas al camino de tierra y a continuación del deslizamiento principal. Este tratamiento se debe complementar con un enrejado de madera rústica y piedra, con la finalidad de proteger el talud inestable del camino de tierra en la longitud, considerada en el sellamiento de la grieta.*

*Palo Pique Principal y Secundario.*

*Los palos piques son estructuras de maderas, contruidos a base de postes o pilotes de regular diámetro con apariencia de enrejado, colocados en forma transversal a la pendiente del cause o laderas con la finalidad de proteger estructuras importantes, retener material sólido en laderas de pendiente fuerte y retener material sólido en drenajes terciarios.*

*El palo pique principal de una longitud de 40 mts, deberá ser construido en forma transversal al deslizamiento, ubicándolo a 7 mts aguas abajo del dique gavionado del sector norte, con la finalidad de brindarle protección y/o seguridad a dichos gaviones.*

*El palo pique secundario, con una longitud de 240 mts (8 de 30 mts c/u) como en el caso del anterior, es un enrejado de postes de madera. Dichas estructuras deberán ser construidas en la parte media y baja de la comúnmente llamada "isla", sobre los taludes o laderas con algún remanente de suelo agrícola, cuya función es retener dicho material para aumentar o acelerar la regeneración natural. Los palos piques primarios y secundarios se muestran en la Figura 3.8.*

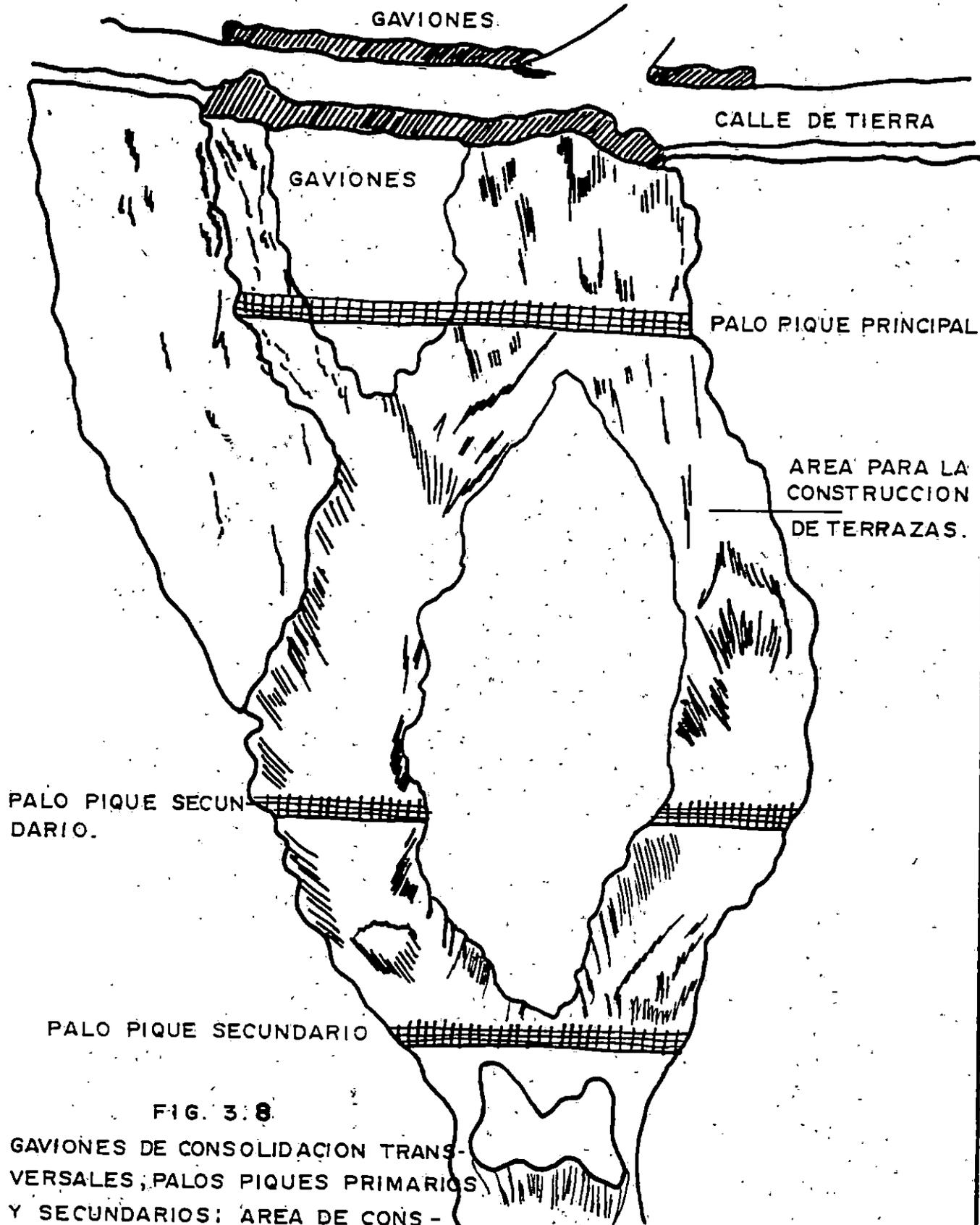


FIG. 3.8

GAVIONES DE CONSOLIDACION TRANSVERSALES; PALOS PIQUES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS; AREA DE CONSTRUCCION DE TERRAZAS.

FUENTE: INFORME SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA SUBCUENCA EL NISPERO. HOPF, JOSEPH. 1983

### *Tratamiento Vegetativo*

*Debe consistir en la siembra de gramíneas y otras especies tales como chichicaste, izote, capulín macho; cuya finalidad es la de no permitir que el excedente de las aguas lluvias alcance la velocidad crítica y realicen un trabajo intenso de erosión, especialmente en los taludes de las terrazas construidas.*

### *Obras de Drenaje.*

*La finalidad de estas estructuras es evitar hasta donde sea posible que el escurrimiento concentrado ingrese a la cabecera del deslizamiento, y en esta forma no permitir daños a los tratamientos por construirse.*

### *Drenaje de Terrazas.*

*Estos son canales revestidos de mampostería hidráulica y deberán estar ubicados en forma longitudinal al deslizamiento, cortando los taludes y bancos de las terrazas principales en una longitud de 40 mts, cuya función será la de intersectar y encausar la escorrentía superficial proveniente de los taludes y bancos de las terrazas.*

### *Drenaje de Camino de Tierra.*

*Estos serán canales o rápidas con caídas o gradas revestidas con mampostería hidráulica, ubicados en forma longitudinal en el talud de la margen derecha del camino y aguas arriba del inicio del deslizamiento, en una longitud de 75 mts, cuya función es encausar la escorrentía proveniente de la zona arriba de la cabecera de deslizamiento, previamente interceptada por cuatro badenes que serán construidos en forma transversal en el camino, los cuales drenan en una cuneta de forma triangular revestida de mampostería hidráulica, ubicada al pie*

del talud de la margen derecha del camino y paralela a la cabecera del deslizamiento, con una longitud de 50 mts, cuya función es drenar el tramo crítico de la vía de acceso antes mencionada, hasta lugares estabilizados en forma natural.

#### Canales de Tierra.

Estos serán dos canales de sección rectangular de 45 mts de longitud cada uno, y con ancho de base de 0.75 mts y 0.85 de profundidad, distanciados el primero más o menos 20 mts aguas abajo de las instalaciones de comunicaciones; construidos en forma transversal a la pendiente, siendo la función principal intersectar la escorrentía superficial y drenarla hacia los badenes que la conducen a las rápidas antes mencionadas. (10)

Esta alternativa descrita como estrategia No. 3, ha sido parcialmente ejecutada hasta la fecha por el Ministerio de Obras Públicas. Las obras realizadas son las que se mencionan a continuación.

- Gaviones transversales en la cuenca de recepción con un volumen de 500 m<sup>3</sup> en el sector norte y en el sector sur del camino de tierra que cruza transversalmente, el cauce de la quebrada donde se originó el flujo de lodo en septiembre de 1982.

- Palo pique principal y secundario.

- . Palo pique principal con una longitud de 40 mts, construido 7 mts aguas abajo del dique gavionado del sector norte transversal al cauce de la quebrada.

- . Palos piques secundarios, construidos en la parte media y baja de la comúnmente llamada isla, sobre los taludes y laderas de este sector.

- Sellamiento de grietas.

*Este consistió en el sellamiento de las grietas localizadas paralelas al camino de tierra, y a continuación del lugar donde se originó el deslizamiento.*

#### *Estrategia 4 (E-4)*

*Para evitar pérdidas de vidas humanas ante un nuevo deslizamiento, lo que se considera prioritario es concientizar a la gente ubicada dentro y adyacente al área de influencia de los flujos de lodo, (que ocurrieron en septiembre de 1982), que el peligro persiste, y que puede ocurrir nuevamente en los subsiguientes, y así, estar preparados para una posible evacuación de la zona.*

*Además, con el propósito de minimizar el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra, debe cubrirse con vegetación de raíces profundas toda la zona dañada de la quebrada El Níspero como también otras quebradas adyacentes que sufrieron daños. Esta vegetación debe fertilizarse adecuadamente para asegurar su crecimiento, definir una zona de protección de dos o tres veces la profundidad de cada quebrada, a ambos lados de cada una de ellas.*

*En esta zona no debe permitirse ningún tipo de construcción, ninguna actividad agrícola, no debe reemplazarse la vegetación natural existente por una inadecuada, no debe permitirse que se deposite ripio o material de desalojo de carreteras.*

*En el cauce de la quebrada El Níspero, 1500 mts aguas arriba de la bóveda existente que se obstruyó y 700 mts aguas abajo de ésta; debe definirse una zona con un volumen de al menos 600,000 m<sup>3</sup>, que tenga a ambos lados diques de 4 a 6 mts de alto como se muestra en la Figura 3.9. En su fundación deberá colocarles una capa drenante de grava de 50 cms de espesor que esté protegida en su alrededor con material "filter-fabric" como los mostrados en la Figura 3.10,*

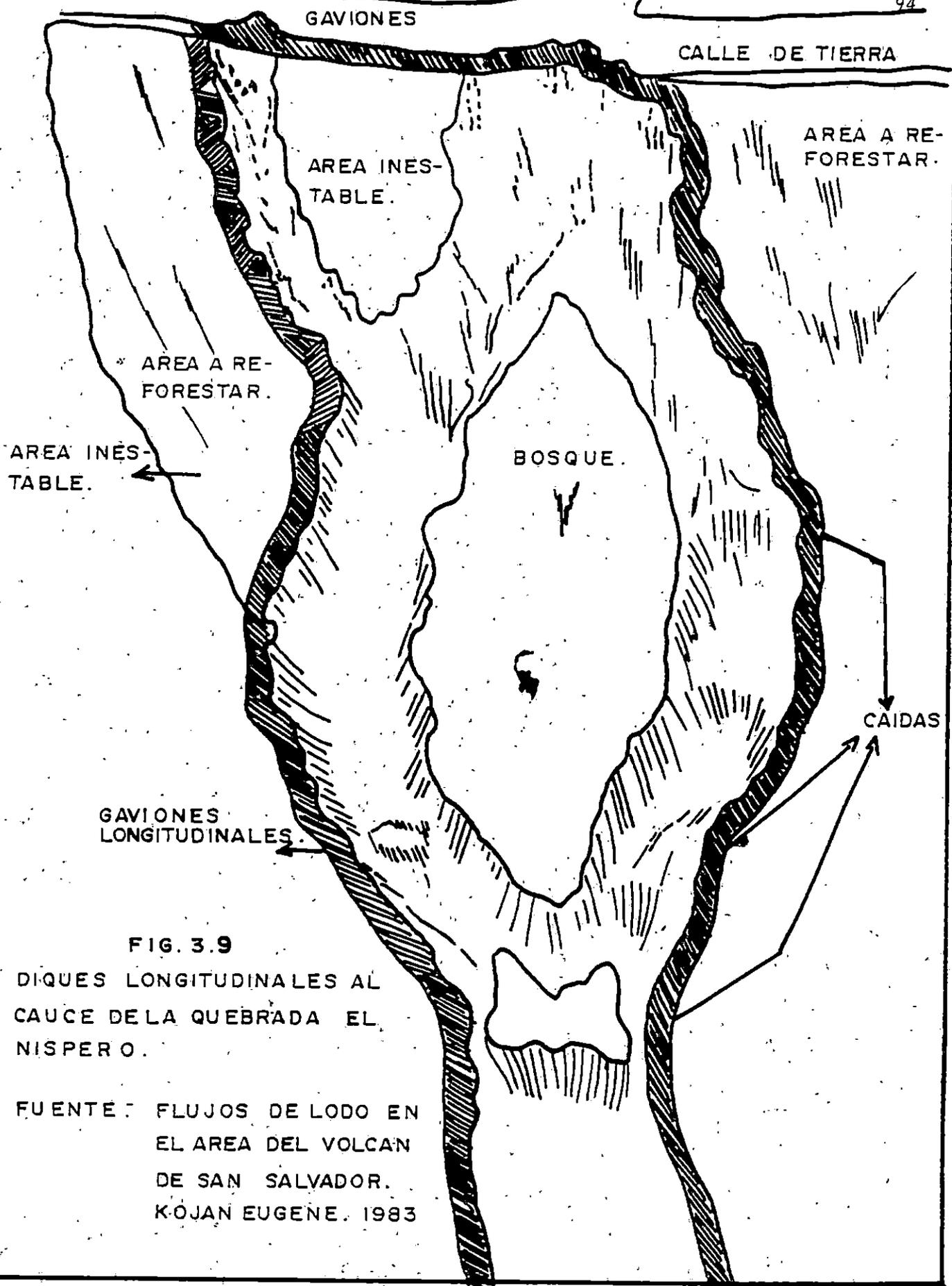
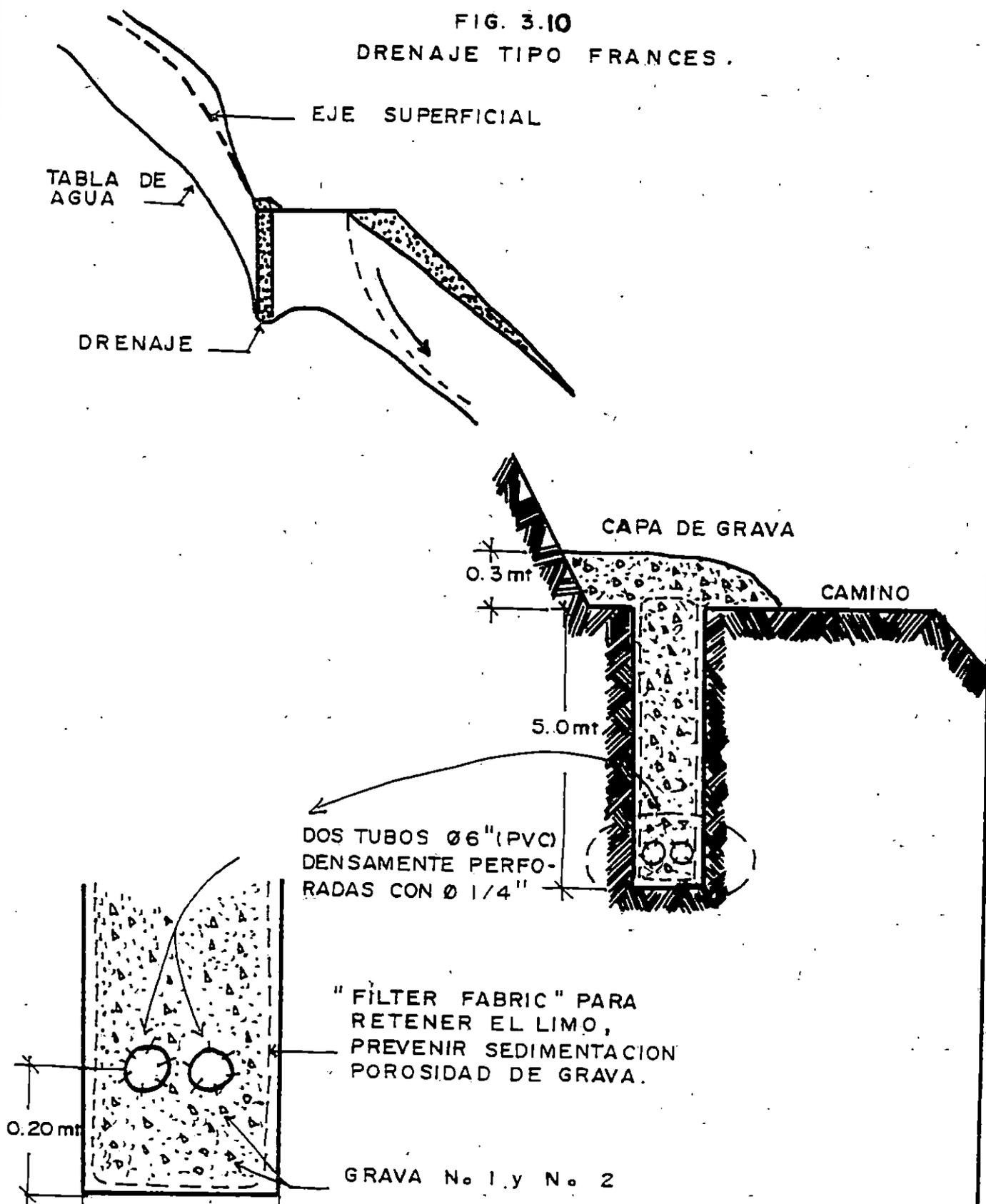


FIG. 3.9

DIQUES LONGITUDINALES AL CAUCE DE LA QUEBRADA EL NISPERO.

FUENTE: FLUJOS DE LODO EN EL AREA DEL VOLCAN DE SAN SALVADOR. KOJAN EUGENE. 1983

FIG. 3.10  
DRENAJE TIPO FRANCES.



FUENTE: FLUJOS DE LODO EN EL AREA DEL VOLCAN / KOJAN EUGENE/83

con el objeto de evitar la saturación y la licuefacción de cada uno de los diques en el evento que se presenten lluvias intensas. Es decir, colocar gaviones longitudinales a lo largo de la quebrada, así como también en el tramo del camino de tierra donde se originó el deslizamiento; evitando así que los taludes de ésta se socaven ya que a través de su cause fluirá una mínima cantidad de agua. (11).

### 3.3.2 Objetivos de aplicar la Teoría de Decisiones al Problema del Deslizamiento de Tierra en Colonia Montebello.

1. Obtener una estrategia que minimice el riesgo de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, al menor costo posible.
2. Evitar pérdidas de vidas humanas y destrucción de infraestructura en la subcuenca de la quebrada El Níspero.

### 3.3.3 Criterios de Evaluación.

- Criterios técnicos que permitan seleccionar una estrategia que minimice el riesgo de un nuevo deslizamiento, considerando las probabilidades del caso.
- Criterios económicos para escoger una estrategia a un costo razonable.

### 3.3.4 Elaboración del Arbol de Decisiones sobre el Problema del Deslizamiento de Tierra en la Colonia Montebello.

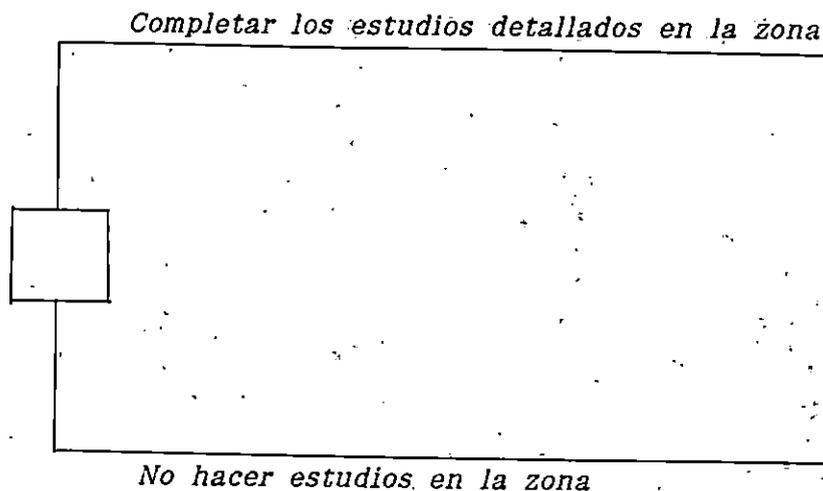
El árbol de decisiones se construirá tomando como base lo planteado en los antecedentes del caso y en la descripción del problema.

En los antecedentes del caso se describen las causas principales que originaron el deslizamiento de tierra en 1982; causas que influirán en la primera

decisión a tomar en la construcción del árbol de decisiones. Es decir, si se conocen las causas geológicas, geotécnicas, hidrológicas, etc., que originaron la catástrofe de 1982 en la Colonia Montebello surge la interrogante ¿ será necesario completar los estudios en forma más detallada o no realizarlos para conocer el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra ?

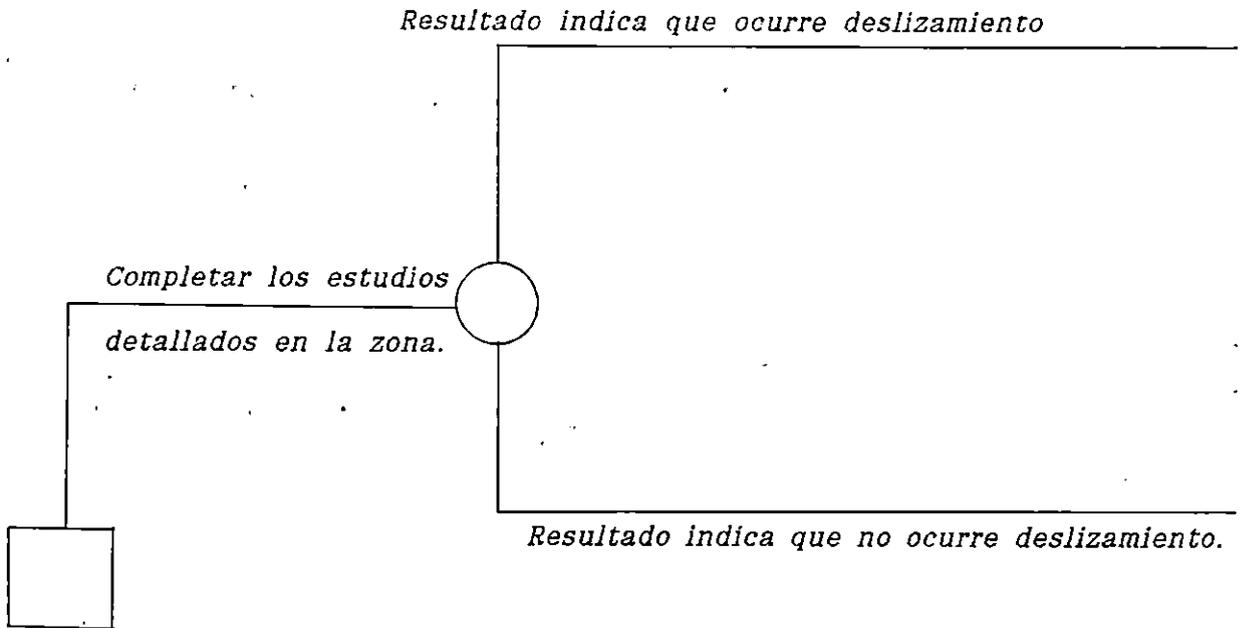
En ese sentido, la primera decisión a tomar es la de completar los estudios detallados en la zona o la de no realizarlos.

Así, se obtienen las primeras dos ramas del árbol de decisiones:



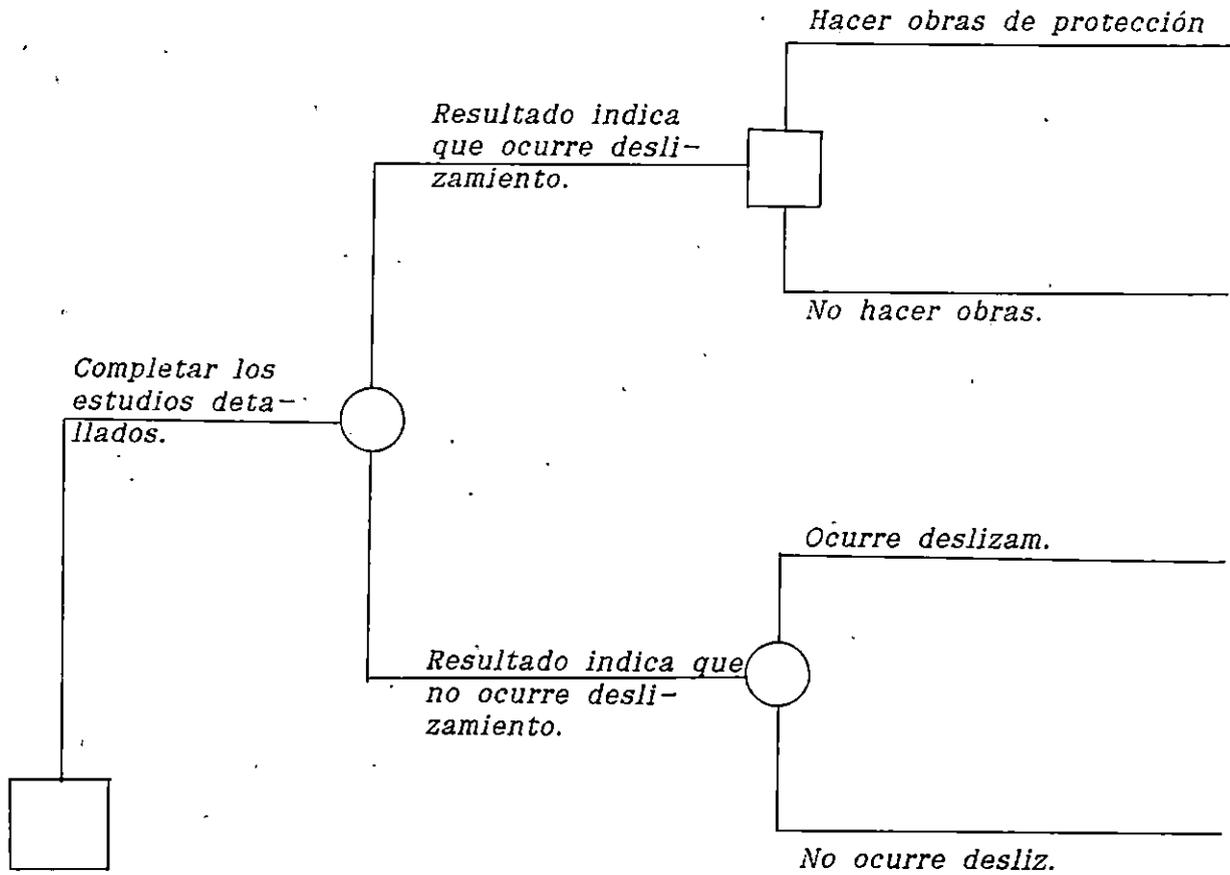
En la parte terminal de la rama de completar los estudios detallados en la zona, necesariamente se llega a un nudo de evento, pues el resultado de éstos aún es incierto; razón por la cual se deben considerar todos los resultados posibles que éstos podrían indicar. Por lo que, el árbol de decisiones en esta

rama crece de la siguiente manera.

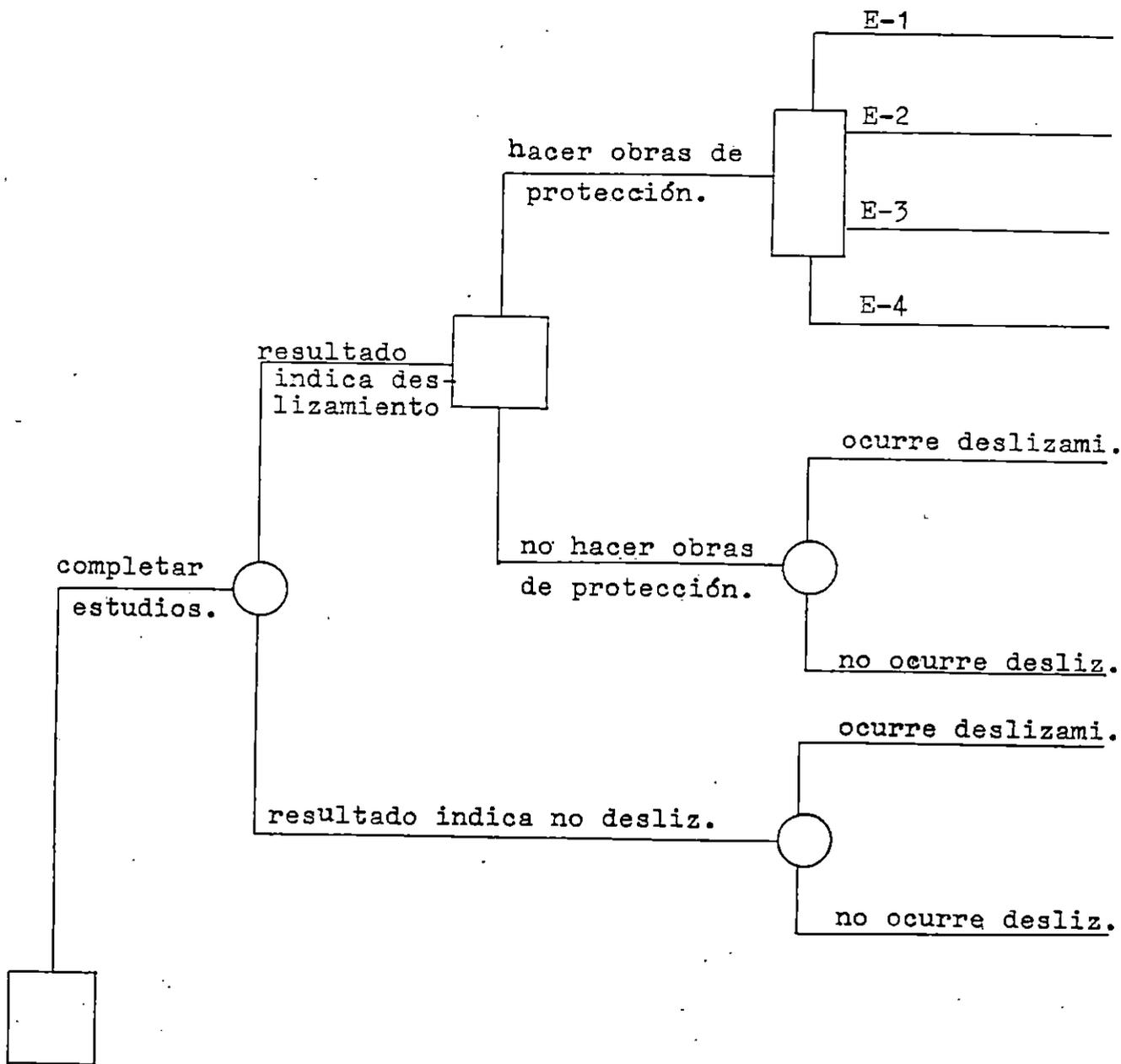


Siguiendo la rama que indica un nuevo deslizamiento de tierra, se hace necesario tomar una decisión sobre qué hacer para evitarlo: si construir obras de protección, o no perturbar el equilibrio inestable en el que se encuentra actualmente la zona del volcán de San Salvador.

En la rama donde los estudios indican que no hay deslizamiento, el diagrama de decisiones llega a un nudo de evento porque el resultado de éstos no garantizan la no ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra. Entonces, el árbol de decisiones crece así:

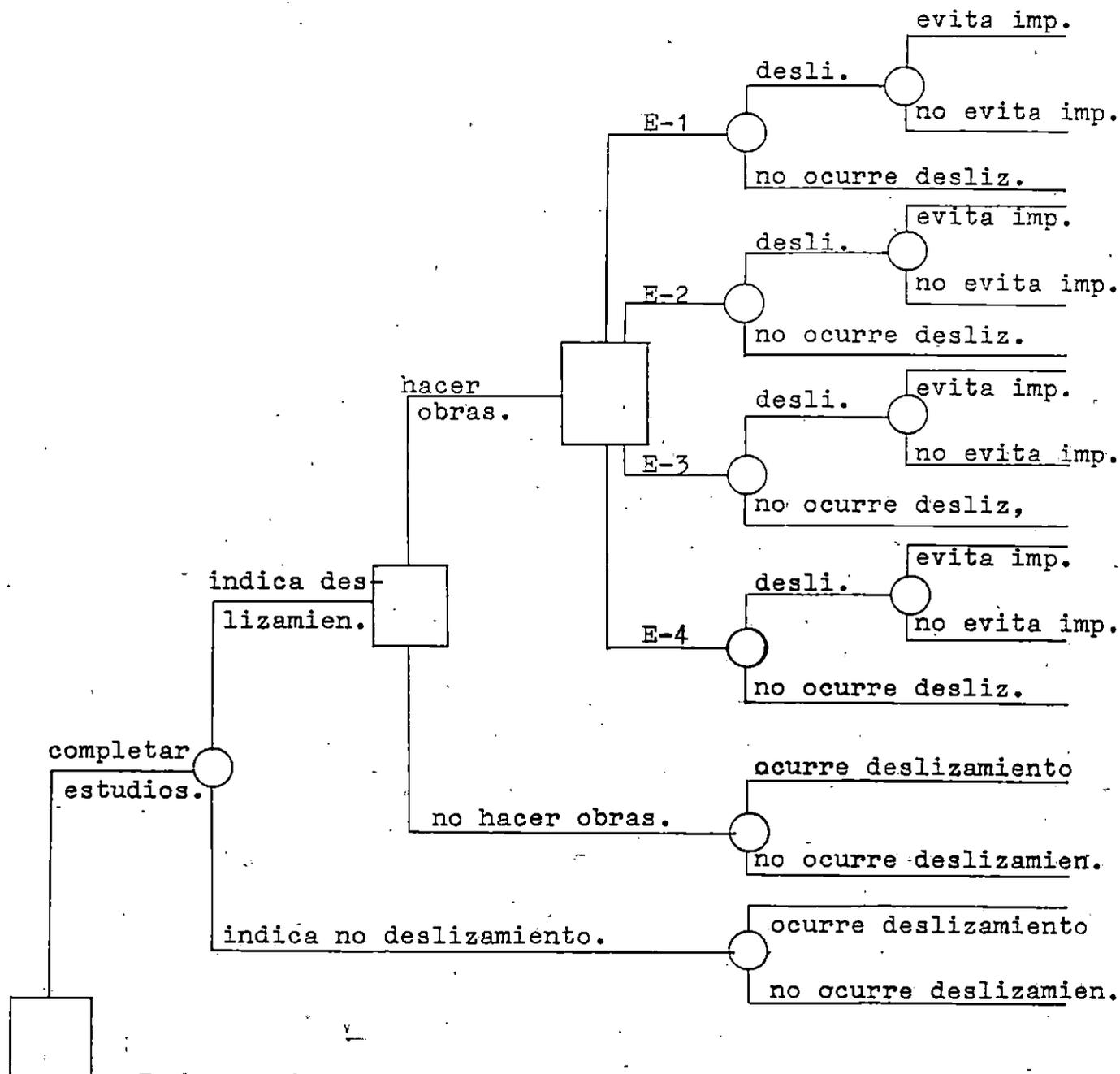


Al tomar la decisión de hacer obras de protección, se debe decidir qué tipo de obras implementar, a partir de las cuatro estrategias detalladas en la descripción del problema. En la rama de no hacer obras de protección, no se necesita otra decisión porque se llega a un nudo de evento sobre las posibilidades de ocurrencia de un deslizamiento de tierra, manteniendo inalterable el estado de cosas en el volcán de San Salvador. En tal sentido, el árbol de decisiones crece así:



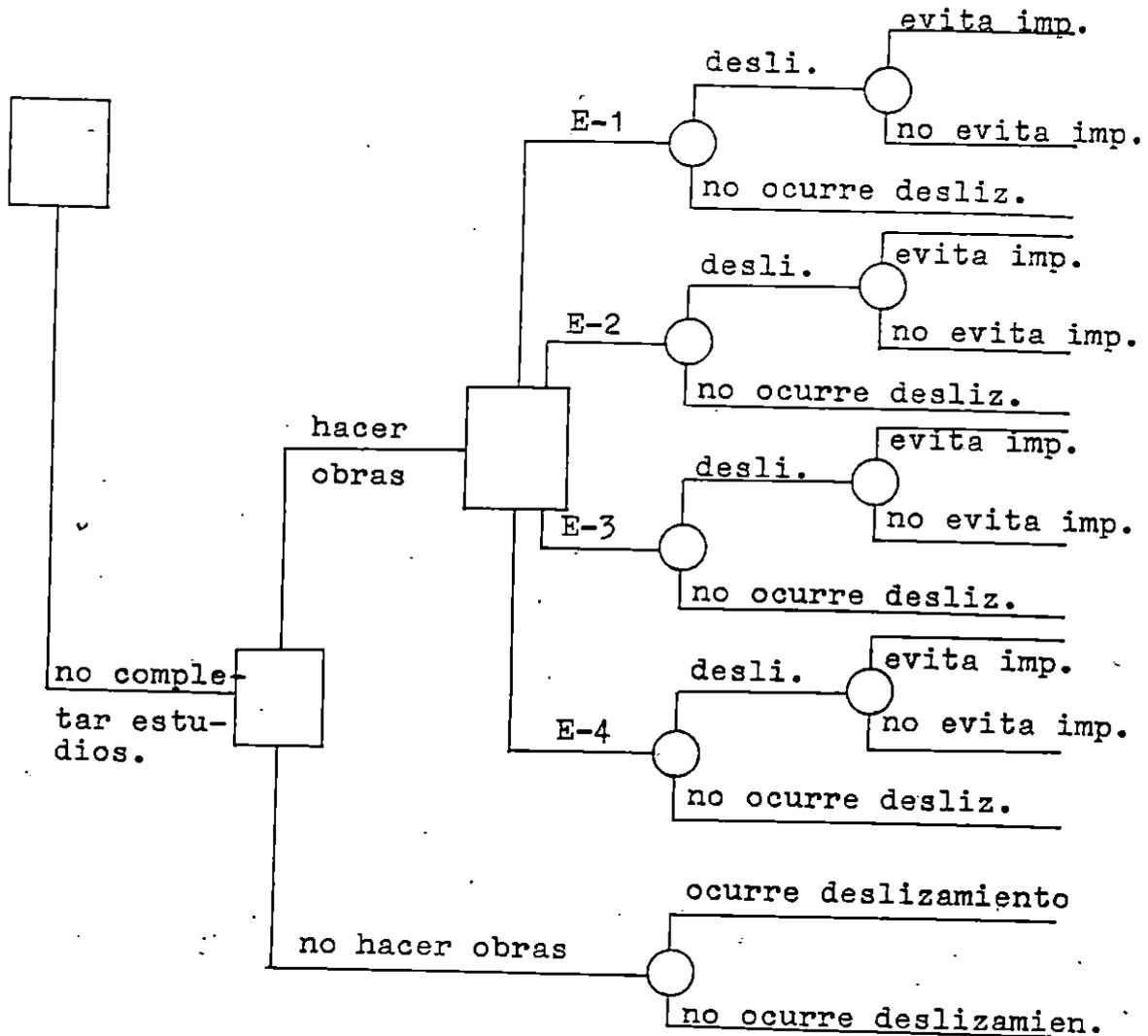
*Después de la decisión tomada sobre qué estrategia seguir entre las cuatro posibles para evitar un nuevo deslizamiento de tierra, se termina el diagrama de decisiones en nudos de eventos porque existen probabilidades de ocurrencia de un deslizamiento de tierra, con cada estrategia ejecutada, y si ocurre el*

deslizamiento se tienen probabilidades que éstas eviten el impacto en el cono de deyección. Así que, el árbol crece de la siguiente manera:



En la rama de no realizar estudios, el primer nudo que se encuentra es un nudo de decisión sobre qué hacer para evitar un nuevo deslizamiento de tierra, igual al nudo de decisión que se encuentra en la rama donde los estudios indican deslizamiento.

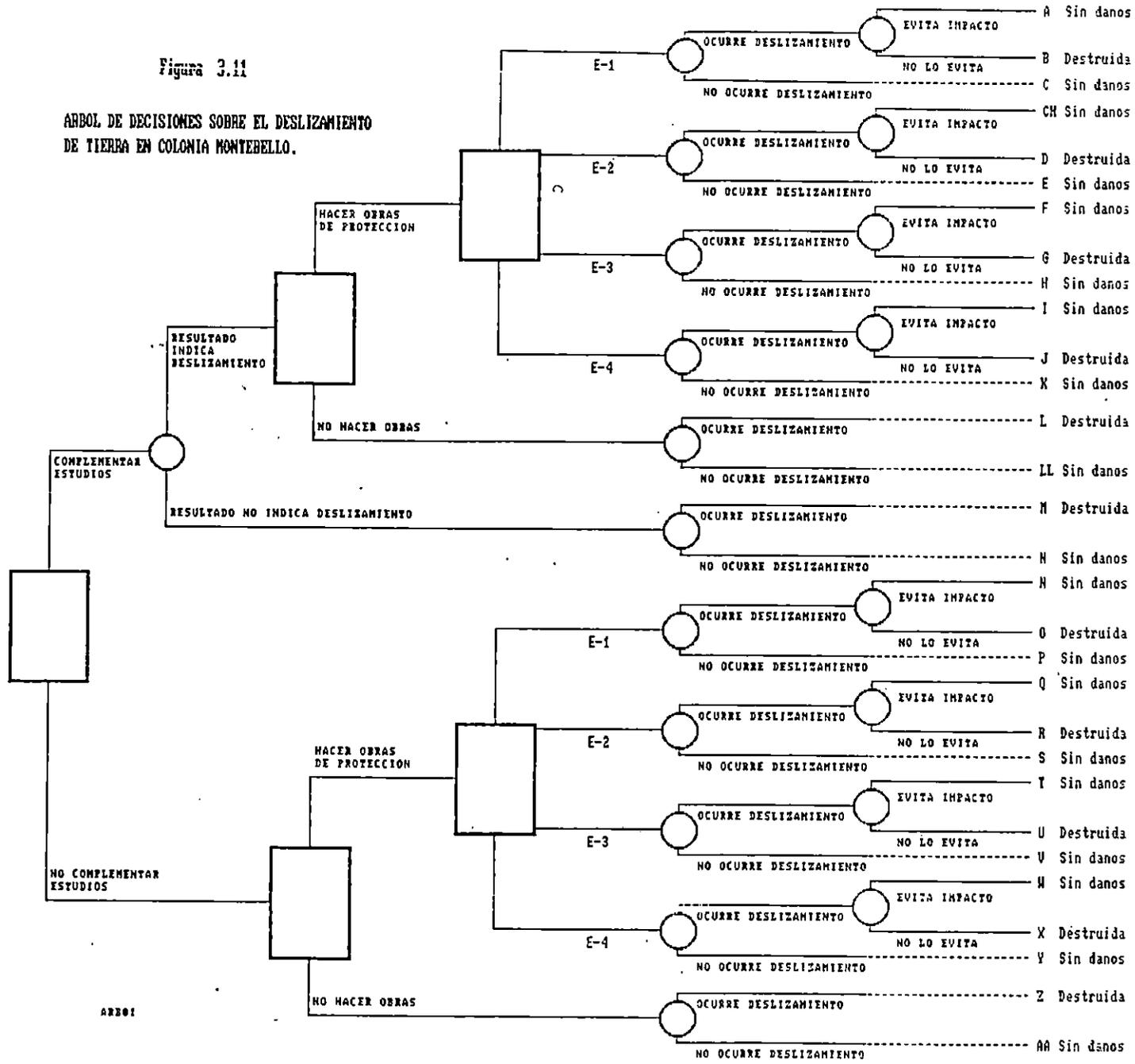
Los siguientes nudos de eventos y decisiones son iguales a los de la rama de realizar estudios detallados en la zona; por lo que el diagrama en esta parte queda de la siguiente forma:



Finalmente se obtiene el árbol de decisiones sobre el problema del deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, mostrado en la Figura 3.11.

Figura 3.11

ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN COLONIA MONTEBELLO.



### 3.3.5 Evaluación de Costos para la Asignación de Flujos Parciales de Dinero, al Arbol de Decisiones.

Las decisiones que se toman en problemas que involucran costos y/o utilidades, están sujetas al valor de estas cantidades, y dependiendo del problema que se quiera resolver, éste representará para el decisor minimizar costos o maximizar beneficios.

Para el caso particular del árbol de decisiones sobre el problema de deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, los flujos parciales de dinero de las diferentes ramas que componen el diagrama, representan costos para el decisor, y los beneficios que se obtienen son más que todo de tipo social.

Los costos para este árbol, están representados en la decisión de realizar estudios detallados en la zona, y en la decisión de ejecutar obras de protección como alternativas para evitar o disminuir el impacto de un nuevo deslizamiento de tierra.

#### 3.3.5.1 Evaluación de Costos.

- Costo de completar estudios geológicos, geotécnicos, hidrológicos, morfológicos, ecológicos, etc., detallados; en la zona del volcán de San Salvador.

- De investigaciones efectuadas en empresas con experiencia en este tipo de estudios. El costo promedio para la zona, se estima alrededor de ₡ 250,000.00

Los costos estimados para cada una de las estrategias se indican en los cuadros 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 siguientes.

CUADRO 3.1

## COSTO DE ESTRATEGIA No. 1

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	COSTO PARCIAL
Gaviones	350	m3	350	122,500.00
Muro de Concreto	108	m3	1,500	162,000.00
TOTAL:				¢ 284,500.00

CUADRO 3.2

## COSTO DE ESTRATEGIA No. 2

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
Canal de Concreto	4770	1,500	7,155,000.00

CUADRO 3.3

## COSTO DE ESTRATEGIA No. 3

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	COSTO PARCIAL
Gaviones	500	m3	350	175,000
Muro de Mampostería	50	m3	500	25,000
Suelo cemento (Compactado)	180	m3	200	36,000
TOTAL :				¢ 236,000

CUADRO 3.4  
COSTO DE ESTRATEGIA No. 4

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	COSTO PARCIAL
Gaviones	12.350	m3	350	4,322,500.00
Coloc.grava	1.210	m3	62.0	75,020.00
Coloc. tubos	4.840	ML	250	1,210,000.00
Materia Fil- ter Fabric	3,050	m2	80.00	244,000.00
Excavación	1,210	m3	62.0	75,020.00

TOTAL : € 5,926.540.

#### Asignación de Costos en los Puntos Terminales

Estos se obtienen de la suma algebraica de los costos de las diferentes ramas, que representan las estrategias de solución en el diagrama o árbol de decisiones.

Los valores obtenidos para los puntos terminales se muestran en la Figura 3.12.

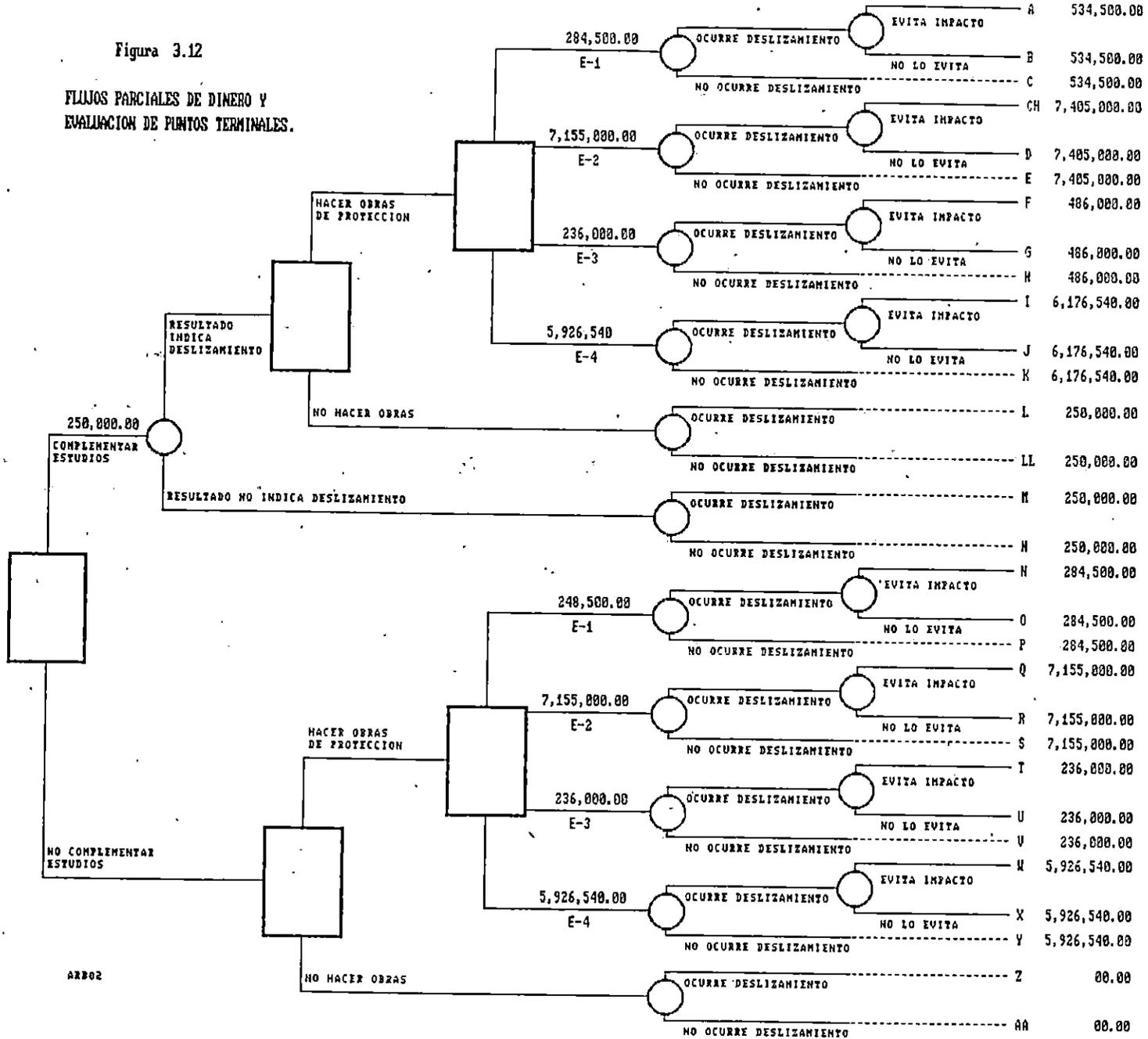
#### 3.3.6 Obtención de Probabilidades

Para obtener probabilidades y asignarlas a los nudos de eventos en el árbol de decisiones, sobre el problema de la nueva ocurrencia de un deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, se ha tomado como base la información proporcionada por expertos relacionados con el caso, por no contar con datos suficientes o información confiable que permitan obtener estas probabilidades a través de cálculos matemáticos.

La información proporcionada por los expertos se obtuvo por medio de entrevistas, donde se formularon una serie de preguntas relacionadas con dicho

Figura 3.12

FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y  
EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES.



ARB02

caso. Los expertos consultados son los siguientes :

Ing. Rogelio E. Godínez	(Ingeniero Civil)
Lic. Carlos Aguilar	(Geólogo)
Ing. M.S. Enrique Melara	(Geotecnista)
Ing. M.I. Mario Angel Guzmán Urbina	(Mec. de Suelos)
Ing. Hernán Romero Chavarría	(Hidrólogo).

El proceso de obtención de probabilidades subjetivas para el árbol de decisiones se describe en los numerales 3.3.6.1 y 3.3.6.2.

### 3.3.6.1 Información para Determinar el Período de Análisis del Arbol de

*Decisiones y las Probabilidades de Ocurrencia, de un nuevo Deslizamiento de tierra para dicho período.*

El período de análisis se determinará con el objeto de limitar el tiempo, fuera del cual no se debe considerar ningún acto o evento en la evaluación del árbol de decisiones. A este período se le asignará una probabilidad de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra para la zona de la Colonia Montebello. La probabilidad obtenida se utilizará en la evaluación del árbol de decisiones, asignándola al nudo de evento, que representa la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, si se mantienen las mismas condiciones bajo las cuales se encuentra la subcuenca de la quebrada El Nispero.

Para determinar el período de análisis y la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de tierra en este período, se hará uso de curvas de probabilidades. Estas curvas son gráficas que para el caso, en particular, serán obtenidas a través de la opinión de expertos, formulando una serie de preguntas con respecto a las probabilidades de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de

tierra. relacionadas con la variable tiempo. A continuación se exponen las preguntas formuladas.

1. ¿Cuál es el límite inferior en años, a partir de esta fecha, abajo de la cual se espera no ocurra un nuevo deslizamiento de tierra?.
2. ¿El límite superior en años, en el cual se espera ocurra un nuevo deslizamiento de tierra?.
3. ¿Entre el límite superior e inferior, mencionar tres valores en años, que dividan este lapso de tiempo en cuatro intervalos, cuyas probabilidades de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, sea la misma?.

La información obtenida se muestra en el Cuadro 3.5 siguiente:

CUADRO 3.5

PERÍODOS DE RETORNO DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA

EXPERTO	RESPUESTAS		
	PREGUNTA No. 1	PREGUNTA No.2	PREGUNTA No. 3
ING. ROGELIO GODINEZ	5 años	25 años	(5-10) años, (15-20) años (10-15)años, (20-25) años
LIC. CARLOS AGUILAR	30 años	50 años	(30-35)años, (40-45) años (35-40)años, (45-50) años
ING. M.S. ENRIQUE MELARA	0 años	50 años	(0-20) años, (30-40) años (20-30)años, (40-50) años
ING. M.S. MARIO A. GUZMAN U.	12 años	32 años	(12-17)años, (22-27) años (17-22)años, (27-32) años
ING. M.S. HERNAN R. CHAVARRIA	-	-	----

### 3.3.6.2 Curvas de Probabilidades

Las curvas de probabilidades se obtienen partiendo de la información del Cuadro 3.5, donde cada pregunta formulada representa una probabilidad de ocurrencia; es decir, la pregunta No. 1 se refiere a un período en años, abajo del cual se espera no ocurra un nuevo deslizamiento de tierra; lo que significa probabilidad de ocurrencia igual a cero (0.0) para ese período asignado por el experto. La pregunta No. 2. se refiere a un período en años arriba del cual se espera ocurra un nuevo deslizamiento de tierra, lo que significa para ese período; probabilidad uno (1.0) de ocurrencia. y; la pregunta No. 3 se refiere a cuatro intervalos de tiempo con igual probabilidad de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, comprendidos entre los límites superior e inferior asignados por los expertos. Para este caso, cada intervalo de tiempo representa, la probabilidad de ocurrencia igual a cero punto veinticinco (0.25).

En este sentido, al procesar la información del Cuadro 3.5, se obtienen arreglos de pares ordenados compuestos por períodos de tiempo; y, probabilidades de ocurrencia para cada experto, que se muestran en el Cuadro 3.6.

**CUADRO 3.6**  
**PERIODOS DE TIEMPO Y PROBABILIDADES DE OCURRENCIA**

<b>RESPUESTAS EXPERTO</b>	<b>PREGUNTA No.1 PROBABILIDAD (0.0)</b>	<b>PREGUNTA No.2 PROBABILIDAD (1.0)</b>	<b>INTERVALO 1 P(0.25)</b>	<b>INTERVALO 2 P(0.50)</b>	<b>INTERVALO 3 p(0.75)</b>	<b>PARES ORDENADOS (PERIODO TIEMPO- PROBABILIDAD)</b>
<b>ING. ROGELIO GODNEZ</b>	5 años	25 años	(5-10) años	(10-15) años	(15-20) años	(5.0), (25.1.0), (10.0.25) (15.0.5), (20.0.75).
<b>LIC. CARLOS AGUILAR</b>	30 años	50 años	(30-35) años	(35-40) años	(40-45) años	(30-0), (50-1.0) (35-0.25), (40-0.5) (45-0.75).
<b>ING. ENRIQUE MELARA</b>	-0.0 años	50 años	(0-20) años	(20-30) años	(30-40) años	(0.0), (50-1.0) (20-0.25), (30-0.50) (40-0.75).
<b>ING. MARIO GUZMAN U.</b>	12 años	32 años	(12-17) años	(17-22) años	(22-27) años	(12-0), (32-1.0) (17-0.25) (22-0.50), (27-0.75)
<b>ING. HERNAN ROMERO</b>	-	-	-	-	-	-

Del cuadro 3.6 se obtienen las curvas de probabilidades para cada experto, graficando los pares ordenados compuestos por el período de tiempo y las probabilidades de ocurrencia.

Estas curvas representan el criterio personal que cada entrevistado tiene de la magnitud del problema, acerca de las posibilidades de la nueva ocurrencia de un deslizamiento de tierra, relacionado con la variable tiempo; en la zona de la Colonia Montebello, partiendo de las actuales condiciones bajo las que se encuentra la zona del volcán de San Salvador.

Figura 3.13  
CURVAS DE PROBABILIDADES

Ing. Rogelio Godínez

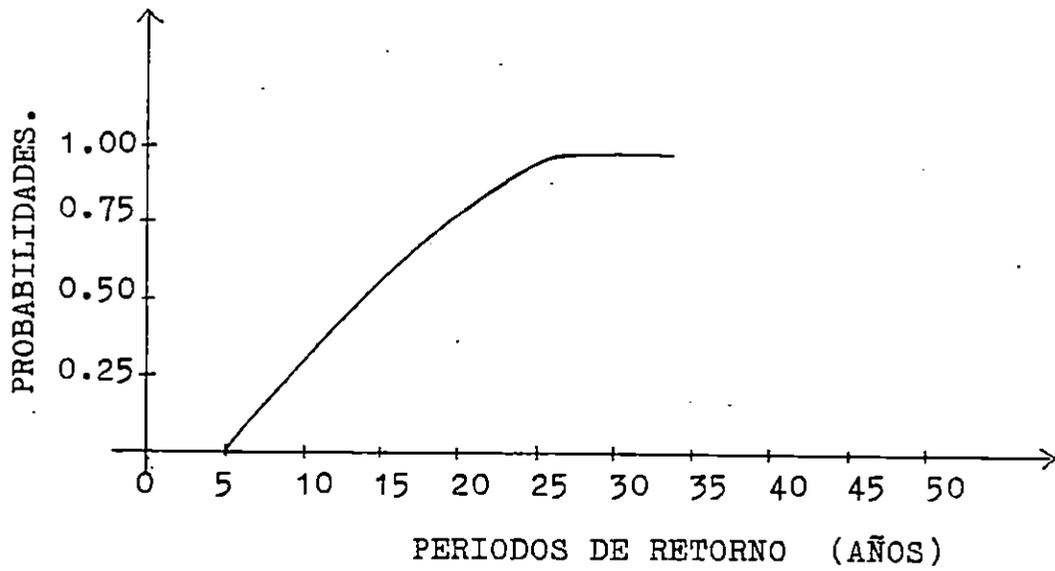


Figura 3.14

Lic. Carlos Aguilar

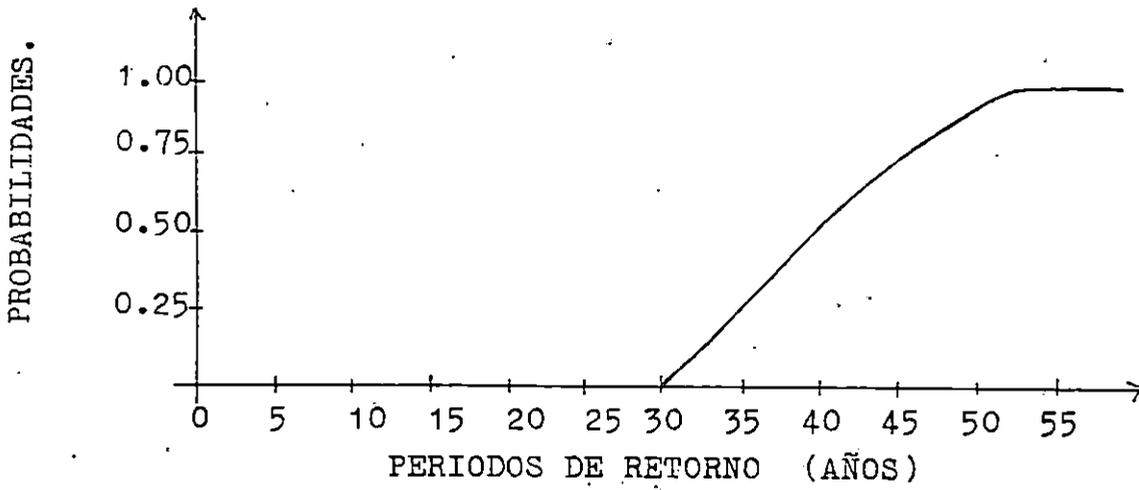


Figura 3.15

Ing. Enrique Melara

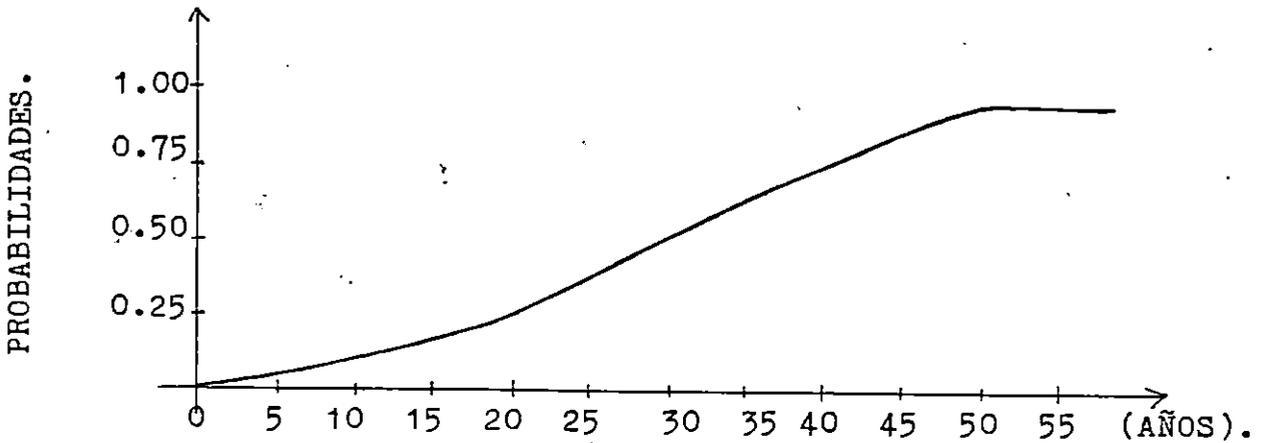
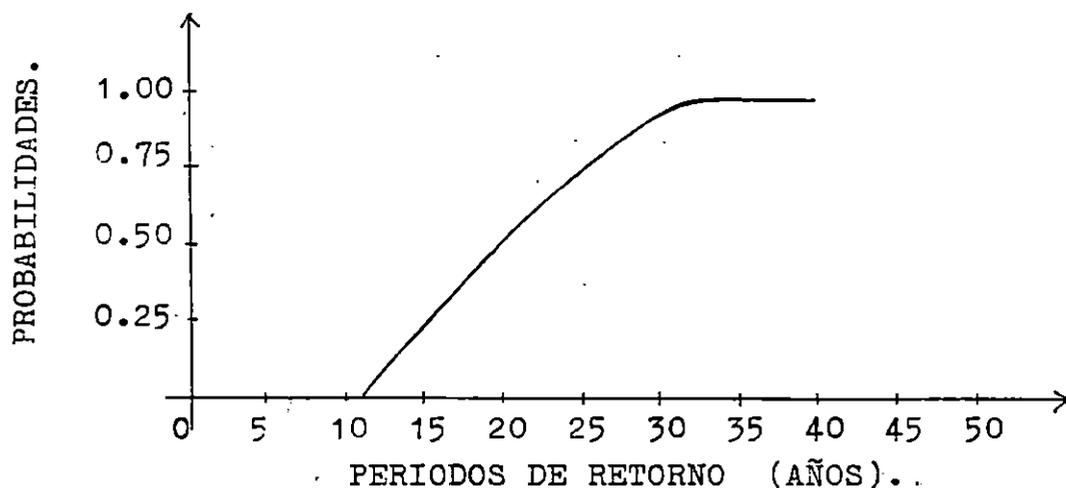


Figura 3.16

Ing. Mario A. Guzmán Urbina



Como se puede observar, las curvas de probabilidades varían para cada experto de acuerdo a la experiencia y al conocimiento que tienen del caso; pero en general el criterio de todos ellos, refleja en cada curva que el peligro de un nuevo deslizamiento persiste y que éste puede ocurrir en los años siguientes.

Con el objeto de obtener una curva de probabilidades que sea representativa del criterio de todos los expertos, se utilizará una curva resultante, para obtener la probabilidad de ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, en cualquier periodo de retorno que se encuentre dentro de los límites superior e inferior de la misma.

Los valores para graficar dicha curva se han obtenido utilizando el concepto de la mediana de los diversos valores asignados por los entrevistados, presentados en el Cuadro 3.6, por ser este valor el más representativo de las opiniones y que no se ve afectado por valores extremos.

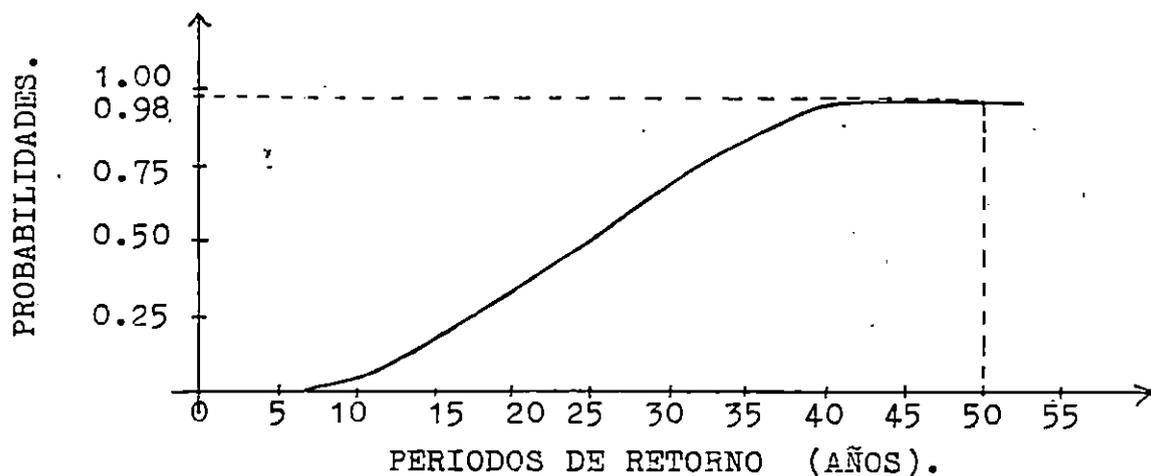
CUADRO 3.7  
 MEDIANA DE LOS VALORES ASIGNADOS POR LOS EXPERTOS  
 SOBRE EL PERIODO DE RETORNO

PROBABILIDAD	DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE	MEDIANA
0.00	0, 5, 12, 30	8.5
0.25	10, 17, 20, 35	18.5
0.50	15, 22, 30, 40	26
0.75	20, 27, 40, 45	33.5
1.00	25, 32, 50, 50	41

De los valores obtenidos en el Cuadro 3.7 se obtiene la curva resultante de probabilidades, que se presenta en la Figura 3.17.

Fig. 3.17

CURVA RESULTANTE DE PROBABILIDADES



### 3.3.6.2 Período de Análisis

Los registros históricos sobre la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la zona que ocupa actualmente la Colonia Montebello, señalan que éstos se presentaron en el pasado geológico, en diferentes períodos de ocurrencia y de acuerdo a la información proporcionada por los expertos, que se ve reflejada en la curva resultante de probabilidades, el período de retorno de este fenómeno oscila entre los 10 y 50 años. Es decir, que el Arbol de Decisiones se puede evaluar para cualquier tiempo de retorno comprendido dentro de este período.

En este sentido, y a manera de ilustración y así como también para un mayor alcance del Arbol de Decisiones en su utilización, se evaluará para un período de retorno de 50 años, tiempo para el cual se obtendrá la probabilidad de ocurrencia de un nuevo fenómeno de esta naturaleza utilizando la gráfica de la figura 3.17.

Probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de tierra para un tiempo de retorno de 50 años.

De la Fig. 3.17 se obtiene que:

Para  $t_r = 50$  años

$$P(t_r) = 0.98$$

Esta probabilidad obtenida se utilizará en la evaluación final del Arbol de Decisiones, asignándola a los nudos de eventos que contienen las ramas sobre la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, de mantenerse las actuales condiciones en la zona del volcán de San Salvador.

### 3.3.6.3 Confiabilidad de Realizar Estudios en la Zona.

Una forma de evaluar el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra en la subcuenca de la quebrada El Nispero, es a través de la realización de estudios

complementarios detallados en la zona (geológicos, geotécnicos, hidrológicos, morfológicos, etc), los cuales proporcionarían información más objetiva sobre las probabilidades de la nueva ocurrencia.

Para efectos de presentación de este caso, los estudios no se realizaron, pues, se aprovechó la información disponible sobre las causas que indujeron al evento, y se recurrió a la opinión de expertos, para obtener a través de ellos probabilidades subjetivas que señalen la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra.

Las probabilidades subjetivas asignadas sobre la confiabilidad de qué estudios se deben hacer y produzcan resultados sobre la ocurrencia de un nuevo evento, se detallan en el Cuadro 3.8; y se utilizarán para la evaluación final del árbol de decisiones, colocándola en el nudo de evento que contiene los resultados de hacer estudios en la zona.

La pregunta formulada a los expertos se menciona a continuación:

Cuál es la probabilidad de que al realizar estudios en la zona, éstos proporcionen buena información sobre la nueva ocurrencia de un deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello?

Los resultados obtenidos sobre dicha pregunta se presentan en el Cuadro No. 3.8.

## CUADRO 3.8

PROBABILIDAD DE QUE LOS ESTUDIOS EN LA ZONA, INDIQUEN LA OCURRENCIA DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA

EXPERTOS	PROBABILIDAD ASIGNADA
ING. ROGELIO GODINEZ	0.60
LIC. CARLOS AGUILAR	0.90
ING. M.S. ENRIQUE MELARA	0.90
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA	0.80
ING. HERNAN R. CHAVARRIA	0.75

3.3.6.4 Probabilidad que ocurra un nuevo Deslizamiento de Tierra construyendo Obras de Protección.

Como parte de la entrevista a los expertos conocedores del caso, se incluyó la pregunta relacionada con la efectividad de implementar ciertas estrategias que básicamente incluyen la construcción de obras de protección, en el sentido de evitar un nuevo deslizamiento de tierra que provocaría nuevamente una catástrofe en el cono de deyección de la quebrada El Nispero. Las estrategias propuestas son las que se detallaron en la descripción del problema.

El objetivo de la pregunta es el de obtener probabilidades subjetivas sobre la efectividad de cada una de las estrategias; y para tal asignación, el experto

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**BIBLIOTECA DEL AREA DE LAS INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**

.Clasificación
----------------

Solicitud de Préstamo

- Tesis
- Libro
- Revista
- Folleto
- Otros

Autor \_\_\_\_\_  
Título \_\_\_\_\_  
Lector \_\_\_\_\_  
Carrera que estudia \_\_\_\_\_  
San Salvador, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

Bibliotec. Despacha \_\_\_\_\_  
Bibliotec. Recibe \_\_\_\_\_  
Bibliotec. Intercala \_\_\_\_\_

estudió en forma separada cada una de ellas, observando sus características principales así como su ubicación dentro de la cuenca de la quebrada El Níspero.

Los valores asignados que se muestran en el Cuadro 3.9, representan la experiencia de cada experto, en cuanto a la implementación de estrategias de prevención en la búsqueda de soluciones para este tipo de problemas. Así también, este valor refleja el conocimiento que el entrevistado tiene acerca del caso en particular.

Dichos valores se utilizarán para la evaluación final del árbol de decisiones, colocándolos en los nudos de eventos que contienen las dos ramas, sobre la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra al ejecutar cada una de las diferentes estrategias de prevención, siguiendo la rama en la decisión de realizar obras de protección.

CUADRO 3.9

PROBABILIDAD QUE OCURRA UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA  
CONSTRUYENDO OBRAS DE PROTECCION

PROBABILIDADES OBTENIDAS EXPERTO	CUAL ES LA PROBABILIDAD QUE OCURRA UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA, CONSTRUYENDO LAS SIGUIENTES ESTRATEGIAS.			
	ESTRA- TEGIA 1	ESTRA- TEGIA 2	ESTRA- TEGIA 3	ESTRA- TEGIA 4
ING. ROGELIO GODINEZ	0.65	0.40	0.40	0.45
LIC. CARLOS AGUILAR	0.98	0.98	0.10	0.10
ING. ENRIQUE MELARA	0.98	0.80	0.20	0.20
ING. MARIO A. GUZMAN U.	0.98	0.98	0.50	0.50
ING. HERNAN ROMERO CH.	0.98	0.98	0.30	0.20

3.3.6.5 Probabilidad que al construir las diferentes estrategias, ante la Ocurrencia de un Nuevo Deslizamiento de Tierra, estas eviten o no el impacto.

Ante la ocurrencia de un deslizamiento de tierra se necesitan conocer las probabilidades subjetivas, sobre la efectividad de las diferentes estrategias, en el sentido de evitar el impacto de este deslizamiento en el cono de deyección de la quebrada El Níspero.

Para obtener dichas probabilidades se le formuló al experto, la siguiente pregunta:

Cuál es la probabilidad que al construir las diferentes estrategias, éstas eviten el impacto en el cono de deyección, ante la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra?

Los valores asignados son los que se muestran en el Cuadro 3.10, y se utilizarán en la evaluación final del árbol de decisiones, asignándolas a los nudos de eventos que contienen las ramas de evitar o no el impacto de un deslizamiento de tierra.

Opinión de expertos:

CUADRO 3.10  
 PROBABILIDAD QUE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS RESISTAN  
 EL IMPACTO DE UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA

EXPERTOS	EVITA EL IMPACTO				NO EVITA EL IMPACTO			
	E-1	E-2	E-3	3-4	E-1	E-2	E-3	E-4
ING. ROGELIO GODINEZ	0.35	0.4	0.65	0.60	0.65	0.6	0.35	0.40
LIC. CARLOS AGUILAR	0.4	0.7	0.9	0.9	0.6	0.3	0.1	0.1
ING. ENRIQUE MELARA	0.02	0.4	0.8	0.9	0.98	0.6	0.2	0.1
ING. MARIO A. GUZMAN U.	0.02	0.02	0.40	0.45	0.98	0.98	0.60	0.55
ING. HERNAN ROMERO	0.4	0.02	0.8	0.9	0.6	0.98	0.2	0.1

### 3.3.7. Asignación de Probabilidades a los Nudos de Eventos en el Arbol de Decisiones.

Debido a que la especialidad de los expertos entrevistados es en diferentes ramas y la experiencia que tienen acerca del deslizamiento de tierra ocurrido en la Colonia Montebello en septiembre de 1982, es de acuerdo a su especialidad, algunos de los datos proporcionados que se muestran en los Cuadros 3.8, 3.9 y 3.10 se puede decir que, hay criterios coincidentes y otros varían.

En este sentido, la asignación de probabilidades a los nudos de eventos en el árbol de decisiones, se hará tomando el valor obtenido bajo el concepto de la mediana de los valores asignados por los expertos; por ser este valor el más

representativo del conjunto de criterios y no es afectado por opiniones extremas.

De la información detallada en el Cuadro 3.8 que se refiere a la probabilidad que al realizar estudios en la zona, el resultado de éstos, proporcione información sobre la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra, se obtiene utilizando la mediana el siguiente valor de probabilidad, indicado en el Cuadro 3.11.

**CUADRO 3.11**  
**PROBABILIDAD DE QUE AL REALIZAR ESTUDIOS, INDIQUEN**  
**UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA.**

<i>DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE</i>	<i>MEDIANA</i>	<i>PROBABILIDAD</i>
<i>0.6, 0.75, 0.8, 0.9, 0.9</i>	<i>0.8</i>	<i>0.8</i>

De la información detallada en el Cuadro 3.9, que se refiere a la probabilidad de que al implementar las diferentes estrategias de solución, ocurra un deslizamiento de tierra; se obtienen, utilizando el concepto de la mediana, los siguientes valores de probabilidad, indicados en el Cuadro 3.12.

CUADRO 3.12

PROBABILIDAD DE QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS,  
OCURRA UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA.

ESTRATEGIAS	DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE	MEDIANA	PROBABI- LIDAD
Estrategia 1	0.65, 0.98, 0.98, 0.98, 0.98	0.98	0.98
Estrategia 2	0.4, 0.8, 0.98, 0.98, 0.98	0.98	0.98
Estrategia 3	0.1, 0.2, 0.3, 0.40, 0.5	0.30	0.30
Estrategia 4	0.1, 0.2, 0.2, 0.45, 0.5	0.20	0.20

De la información detallada en el Cuadro 3.10 que se refiere a la probabilidad de que al implamentar las diferentes propuestas ocurra un deslizamiento de tierra, éstas, eviten el impacto, del deslizamiento.

Las probabilidades se obtienen utilizando el concepto de la mediana, los valores de probabilidad están indicados en el Cuadro 3.13.

**CUADRO 3.13**  
**PROBABILIDADES QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS,**  
**RESISTAN A UN NUEVO DESLIZAMIENTO DE TIERRA,**  
**EVITANDO EL IMPACTO**

<i>ESTRATEGIAS</i>	<i>DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE</i>	<i>MEDIANA</i>	<i>PROBABI- LIDAD</i>
<i>Estrategia 1</i>	<i>0.02, 0.02, 0.35, 0.4, 0.4</i>	<i>0.35</i>	<i>0.35</i>
<i>Estrategia 2</i>	<i>0.02, 0.02, 0.4, 0.4, 0.7</i>	<i>0.40</i>	<i>0.40</i>
<i>Estrategia 3</i>	<i>0.40, 0.65, 0.8, 0.8, 0.9</i>	<i>0.8</i>	<i>0.8</i>
<i>Estrategia 4</i>	<i>0.45, 0.60, 0.9, 0.9, 0.9</i>	<i>0.9</i>	<i>0.9</i>

Las probabilidades obtenidas en los Cuadros 3.11, 3.12 y 3.13 así como la probabilidad obtenida de la Figura 3.16, sobre la ocurrencia de un nuevo deslizamiento de tierra para un período de retorno de 50 años; se asignan a los nudos de eventos del árbol de decisiones, tal como se muestra en la Figura 3.18. Cada una de las ramas terminales de dicha figura ha sido denominada con una letra del alfabeto con el fin de identificarlas en la evaluación del árbol.

### 3.4. EVALUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES

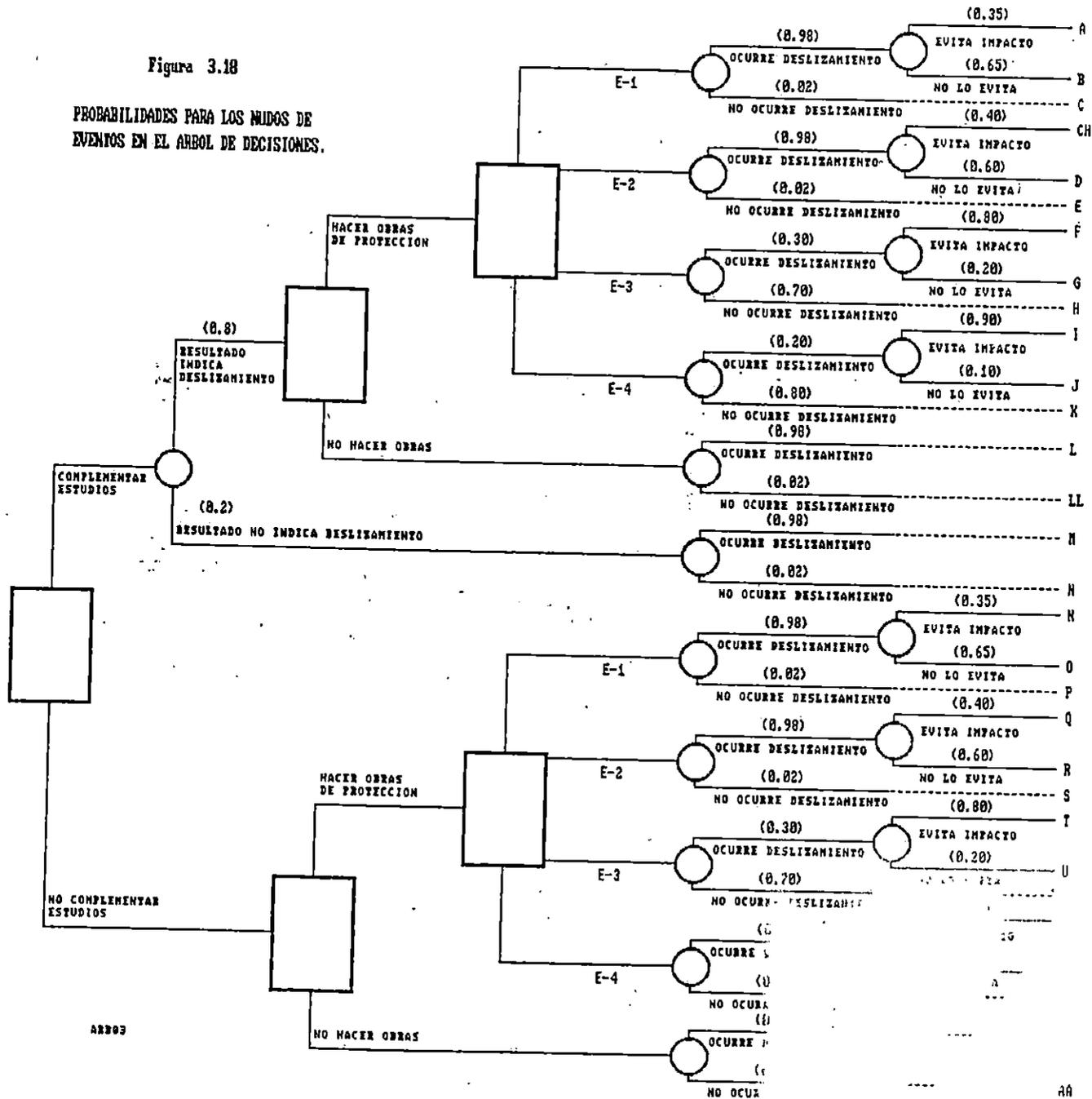
#### 3.4.1 Selección del Método a utilizar.

Luego de asignado los flujos parciales de dinero y las probabilidades al árbol de decisiones, la siguiente etapa consiste en la evaluación final de éste.

En esta etapa el decisor obtiene de entre todas las estrategias, aquella que

Figura 3.18

PROBABILIDADES PARA LOS NUDOS DE  
EVENTOS EN EL ARBOL DE DECISIONES.



ARBO3

AA

cumple con el objetivo o los objetivos trazados.

Este proceso de obtención de la estrategia óptima por medio de la evaluación final del árbol de decisiones, se realiza en base al tipo de problema en estudio, el cual puede ser de un solo objetivo o de múltiples objetivos, razón que condiciona el método de evaluación a utilizar.

Para el caso particular del deslizamiento de tierra, por tener éste objetivos múltiples, el proceso de evaluación seleccionado es el método de reducción, el cual consiste en lo siguiente:

a) Selección de la posición terminal, como posición base.

La posición base a escoger es aquella que cumple con los objetivos trazados. Para este caso, la posición base seleccionada es, donde el área de influencia de la Quebrada El Nispero, se encuentra sin daño.

b) Diferencia de los puntos terminales con la posición base.

Luego de seleccionada la posición base, el decisor escribe en cada posición terminal las diferencias si las hay con la posición base.

La posición base seleccionada como se detalla en el inciso anterior, es donde "EL AREA DE INFLUENCIA DE LA QUEBRADA EL NISPERO SE ENCUENTRA SIN DAÑOS", posición que se procede a comparar con cada uno de los puntos terminales mostrados en la Fig. 3.11. Por ejemplo, al comparar la posición base, con la posición terminal A, no se encuentra diferencia, al hacerlo con la posición B, se encuentra diferencia, la cual es, que la zona se encuentra destruida.

Este procedimiento se continua hasta llegar al último punto terminal que para este caso, es el punto terminal AA.

A continuación se detallan todos los puntos terminales con su correspondiente diferencia con la posición base.

A	-534,500	No hay diferencia
B	-534,500	Zona destruida
C	-534,500	No hay diferencia
CH	-7,405,000	No hay diferencia
D	-7,405,000	Zona destruida
E	-7,405,000	No hay diferencia
F	-486,000	No hay diferencia
G	-486,000	Zona destruida
H	-486,000	No hay diferencia
I	-6,176,540	No hay diferencia
J	-6,176,540	Zona destruida
K	-6,176,540	No hay diferencia
L	-250,000	Zona destruida
LL	-250,000	No hay diferencia
M	-250,000	Zona destruida
N	-250,000	No hay diferencia
N	-284,500	No hay diferencia
O	-284,500	Zona destruida
P	-284,500	No hay diferencia
Q	-7,155,000	No hay diferencia
R	-7,155,000	Zona destruida
S	-7,155,000	No hay diferencia
T	-236,000	No hay diferencia
U	-236,000	Zona destruida
V	-236,000	No hay diferencia
W	-5,926,540	No hay diferencia

X	-5,926,540	Zona destruida
Y	-5,926,540	No hay diferencia
Z	000	Zona destruida
AA	000	No hay diferencia

*c) Cantidad equivalente a las diferencias.*

*En esta etapa, el decisor selecciona la máxima cantidad de dinero que está dispuesto a pagar para pasar a la posición base, en los puntos que tienen diferencia con esta posición.*

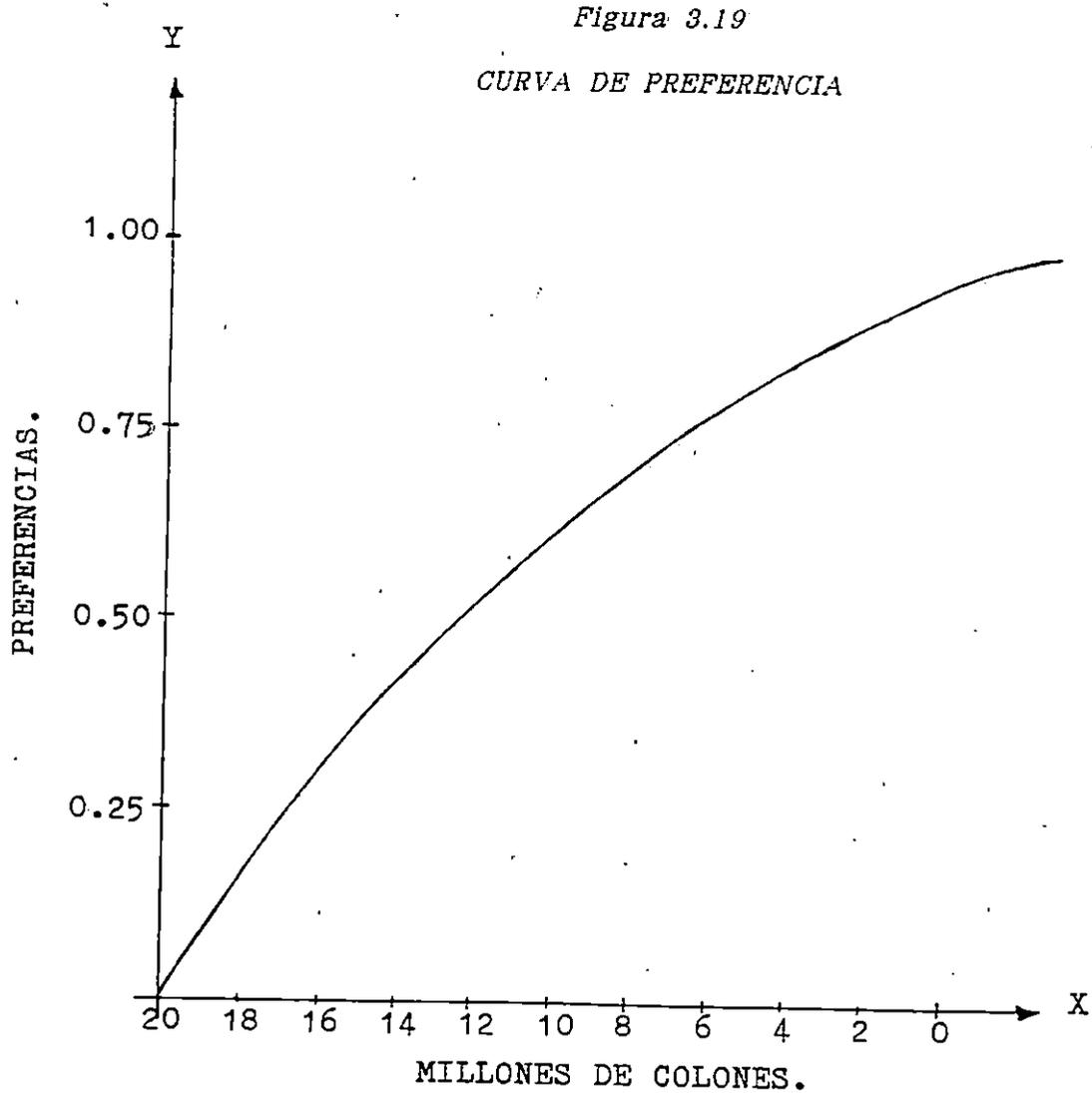
*Como en este caso el decisor es el Gobierno de la República de El Salvador a través de sus dependencias respectivas, se estima que éste pagará ₡ 10,000,000 como máximo para pasar a la posición base.*

*d) Curva de Preferencia.*

*La función de esta curva es la de sustituir los valores monetarios de los puntos terminales, por valores de preferencia.*

*Estas curvas se construyen para cada decisor, utilizando uno de los métodos explicados en el Capítulo II.*

*Como en este caso, el decisor es el Gobierno de la República de El Salvador, no fue posible construir una curva de preferencia para este decisor, razón por la que el grupo de trabajo construyó una curva de preferencia, utilizando el método del tetrahedro, para la evaluación del árbol de decisiones.*



Como se explicó en el capítulo anterior, existen tres tipos de curvas de preferencia, con aversión, propensión y neutralidad al riesgo. Para este caso, la curva generada refleja que el decisor tiene aversión al riesgo, prueba de ello es la falta de interés del Gobierno en invertir capital para solucionar el problema de un nuevo deslizamiento de tierra, en la zona de la Colonia Montebello.

*e) Ajuste de Valores Terminales y Asignación de Preferencias.*

*En esta parte se ajustan los valores terminales mostrados en el literal b), restando a los valores que tienen diferencia con la posición base, la cantidad establecida en el literal c), la cual es de ¢ 10,000,000. Luego de realizado este ajuste, se sustituyen estos valores por sus preferencias, utilizando la gráfica de la Figura 3.19.*

*Ejemplo de Ajuste de Valores Terminales:*

*Para el Punto A:*

*A = -534,500 No hay diferencia con la posición base.*

*En este punto no existe diferencia con la posición base, por lo que no se restan los ¢ 10,000,000 quedando este valor terminal sin modificaciones.*

*Para el Punto B:*

*B = -534,500 Zona destruida.*

*Este punto tiene diferencia con la posición base, de donde se obtiene al hacer el ajuste la siguiente cantidad:*

$$B = -534,500 - 10,000,000$$

$$B = -10,534,500$$

*El procedimiento se continúa hasta llegar al punto terminal AA.*

*Ejemplo de Asignación de Preferencias:*

*Para el Punto A:*

$$A = -534,500$$

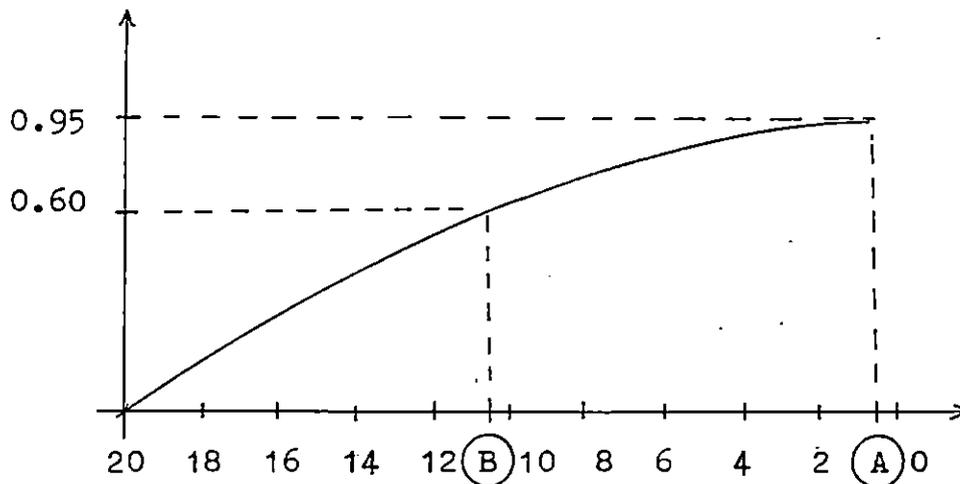
*Para obtener la preferencia se levanta una línea vertical a partir de este*

valor, hasta intersectar la curva, luego se traza una línea horizontal intersectando el eje de las Y, de donde se lee la preferencia equivalente al valor de este punto.

El procedimiento se muestra en la siguiente figura y continúa de forma similar hasta llegar al punto terminal AA.

Figura 3.19

CURVA DE PREFERENCIA



De esta figura se puede observar, que la preferencia del decisor por el punto A, es de 0.95 y para el punto B, es de 0.60.

A continuación se detallan todos los puntos terminales con su correspondiente preferencia.

		PREFERENCIAS
A	-534,500	0.95
B	-10,534,500	0.60
C	-534,500	0.95
CH	-7,405,000	0.74

D	-17,405,000	0.21
E	-7,405,000	0.74
F	-486,000	0.96
G	-10,486,000	0.61
H	-486,000	0.96
I	-6,176,540	0.80
J	-16,176,540	0.31
K	-6,176,540	0.80
L	-10,250,000	0.62
LL	-250,000	0.97
M	-10,250,000	0.62
N	-250,000	0.97
N	-284,500	0.97
O	-10,284,500	0.62
P	-284,500	0.97
Q	-7,155,000	0.77
R	-17,155,000	0.25
S	-7,155,000	0.77
T	-236,000	0.99
U	-10,236,000	0.62
V	-236,000	0.99
W	-5,926,540	0.81
X	-15,926,540	0.32
Y	-5,926,540	0.81
Z	-10,000,000	0.63
AA	- 000	1.00

Obtenidas las preferencias, se trasladan a los puntos terminales del árbol de decisiones, junto con las probabilidades de los diferentes nudos de eventos, como se muestra en la Figura 3.20.

A continuación se calcula para cada punto de incertidumbre, la preferencia esperada, multiplicando la preferencia de cada punto terminal por la probabilidad de la rama, sumando este resultado para todas las ramas que salen de un mismo nudo de evento. El valor que se obtiene se sustituye por el punto o nudo de evento.

Para ejemplificar este procedimiento se toma la rama que representa la estrategia No. 1, de la Fig. 3.20, con sus respectivos nudos de eventos.

De la Figura 3.20 se obtiene que:

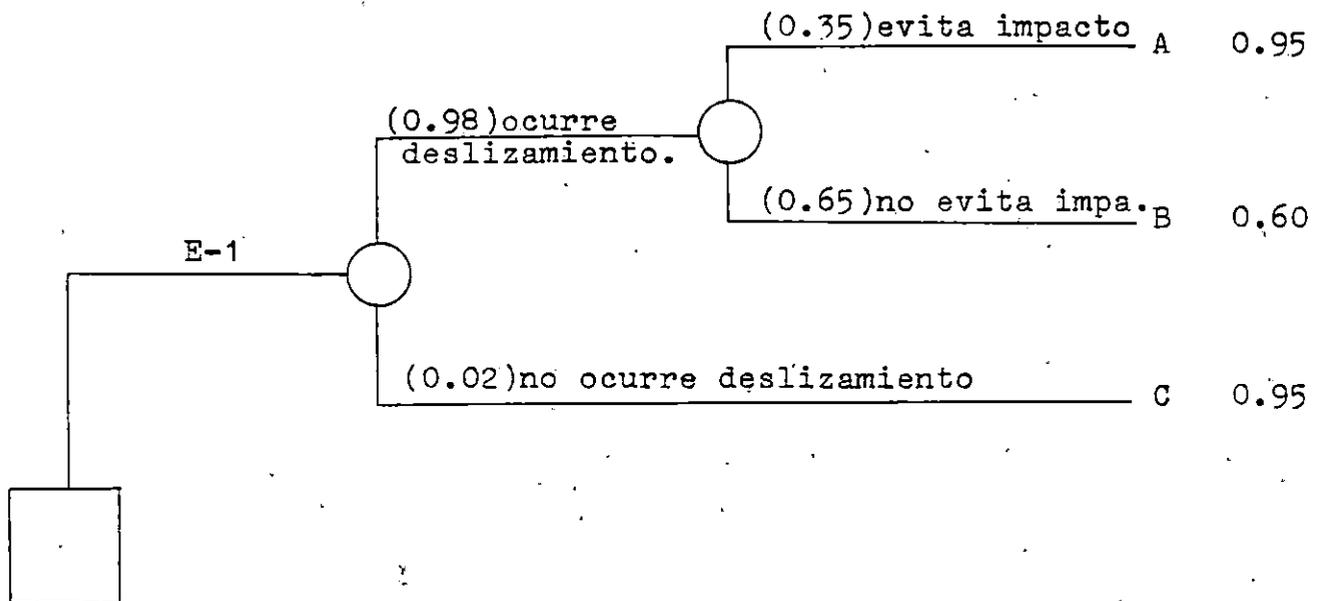
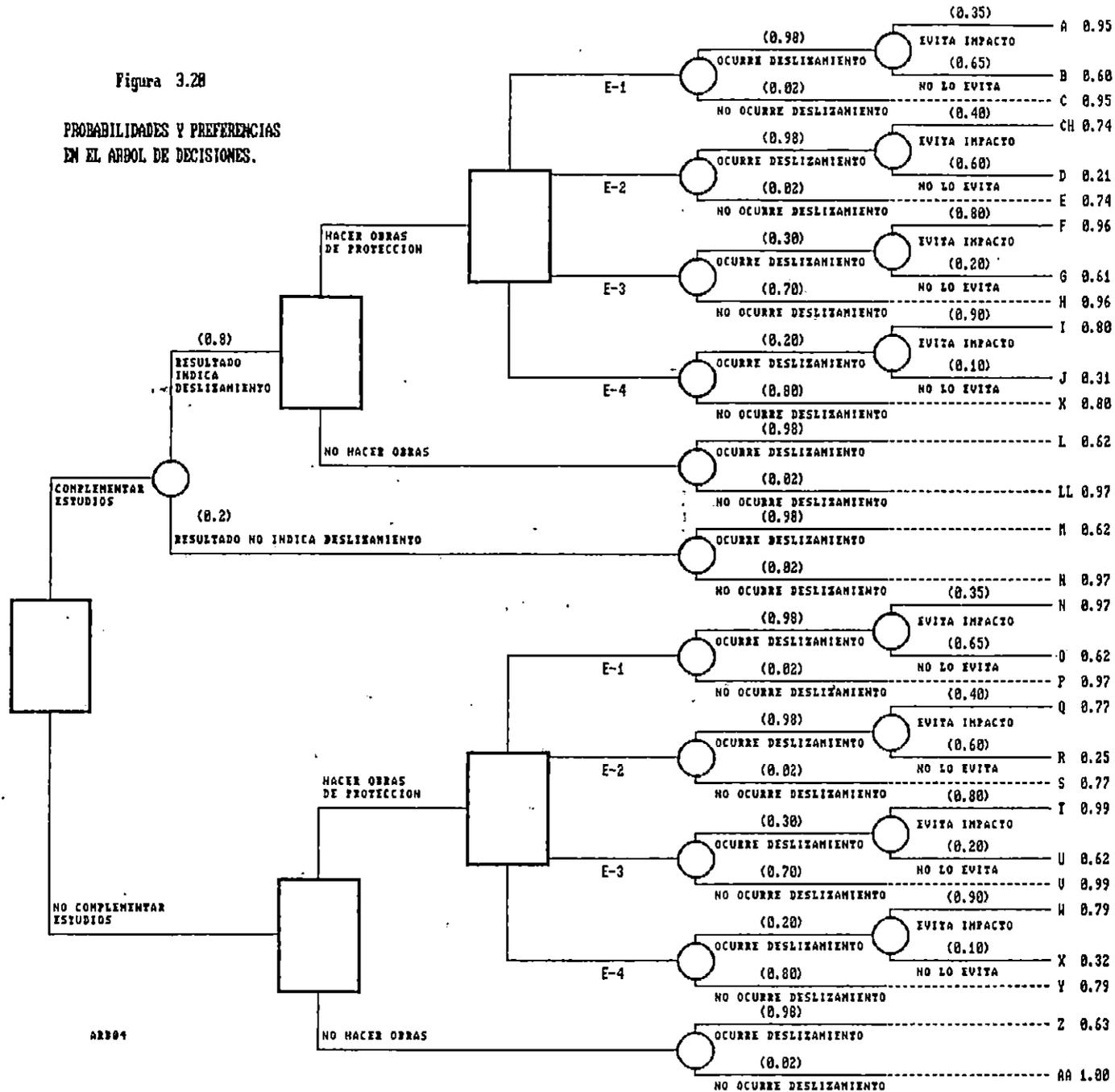
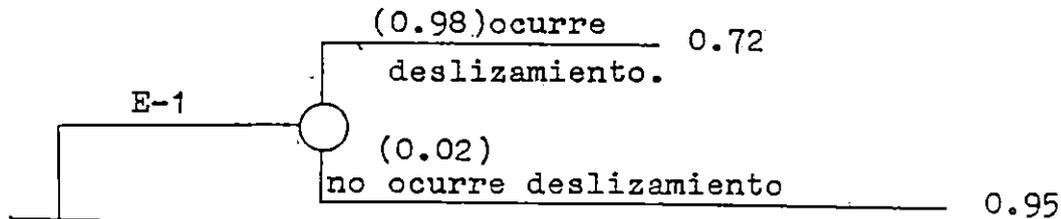


Figura 3.28  
 PROBABILIDADES Y PREFERENCIAS  
 EN EL ARBOL DE DECISIONES.



CALCULO:

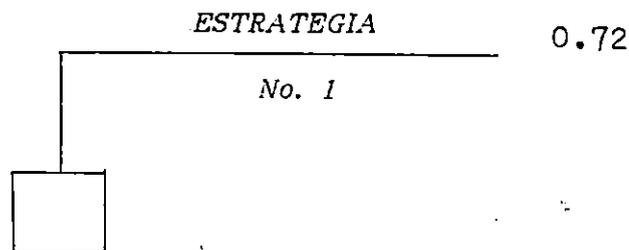
$0.95 \times 0.35 + 0.60 \times 0.65 = 0.72$  éste valor se coloca en el primer nudo de evento, como se muestra en la siguiente figura.



Preferencia para el segundo nudo de evento:

CALCULO:

$0.72 \times 0.98 + 0.95 \times 0.02 = 0.72$  Este valor se coloca en el segundo nudo de evento, como se muestra en la siguiente figura.



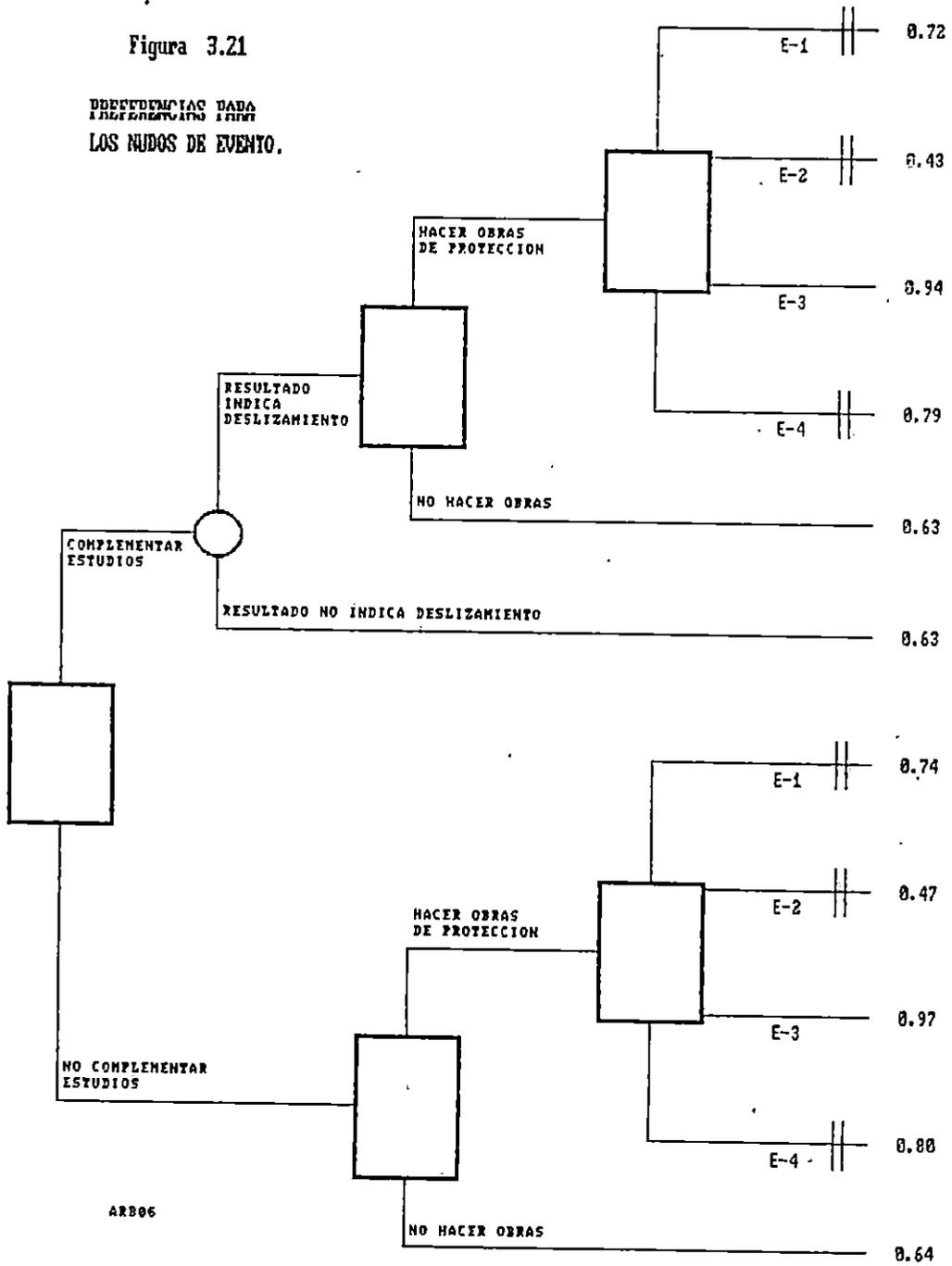
Este procedimiento se continúa de forma similar para todos los nudos de eventos, hasta llegar a un punto de decisión. Los valores obtenidos se muestran en la Figura 3.21.

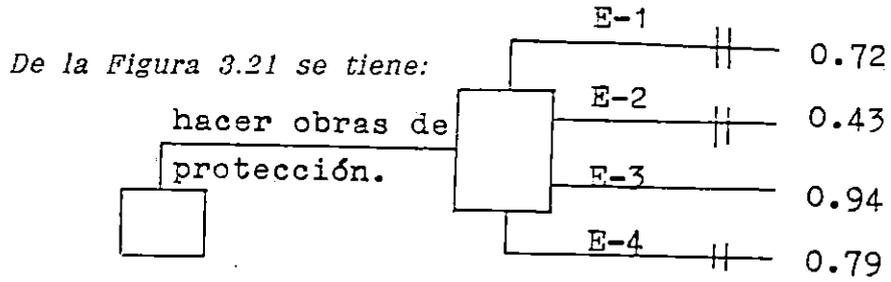
Cuando se llega a un nudo de decisión, se selecciona el acto que maximiza la preferencia y cerrando por medio de líneas paralelas las demás rutas.

Como ejemplo de este proceso se toma el nudo de decisión que representa las cuatro estrategias de solución.

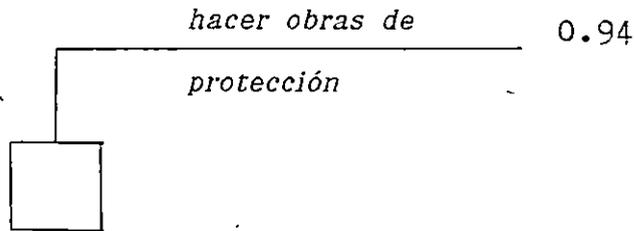
Figura 3.21

PREFERENCIAS PARA  
INDICACIONES PARA  
LOS NUDOS DE EVENTO.





El valor que maximiza la preferencia es 0.94, y se coloca en el nudo de decisión, como se muestra:



El procedimiento continúa de igual forma hasta llegar al punto de decisión inicial, los valores obtenidos se muestran en las Figuras 3.22 y 3.23.

Figura 3.23  
 PREFERENCIA EN EL NUDO DE  
 DECISION INICIAL

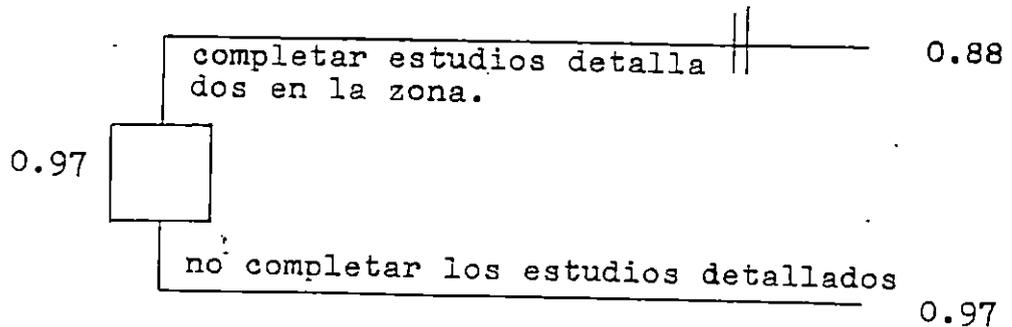


Figura 3.22

PREFERENCIAS EN LOS  
NODOS DE DECISION.

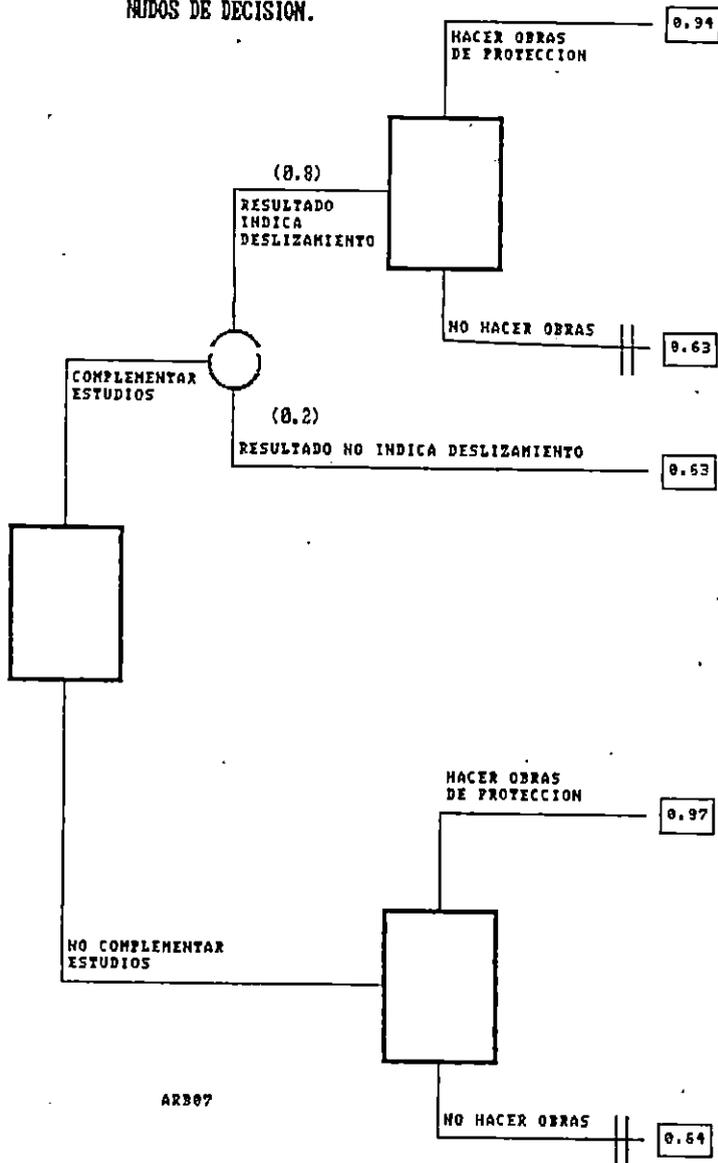
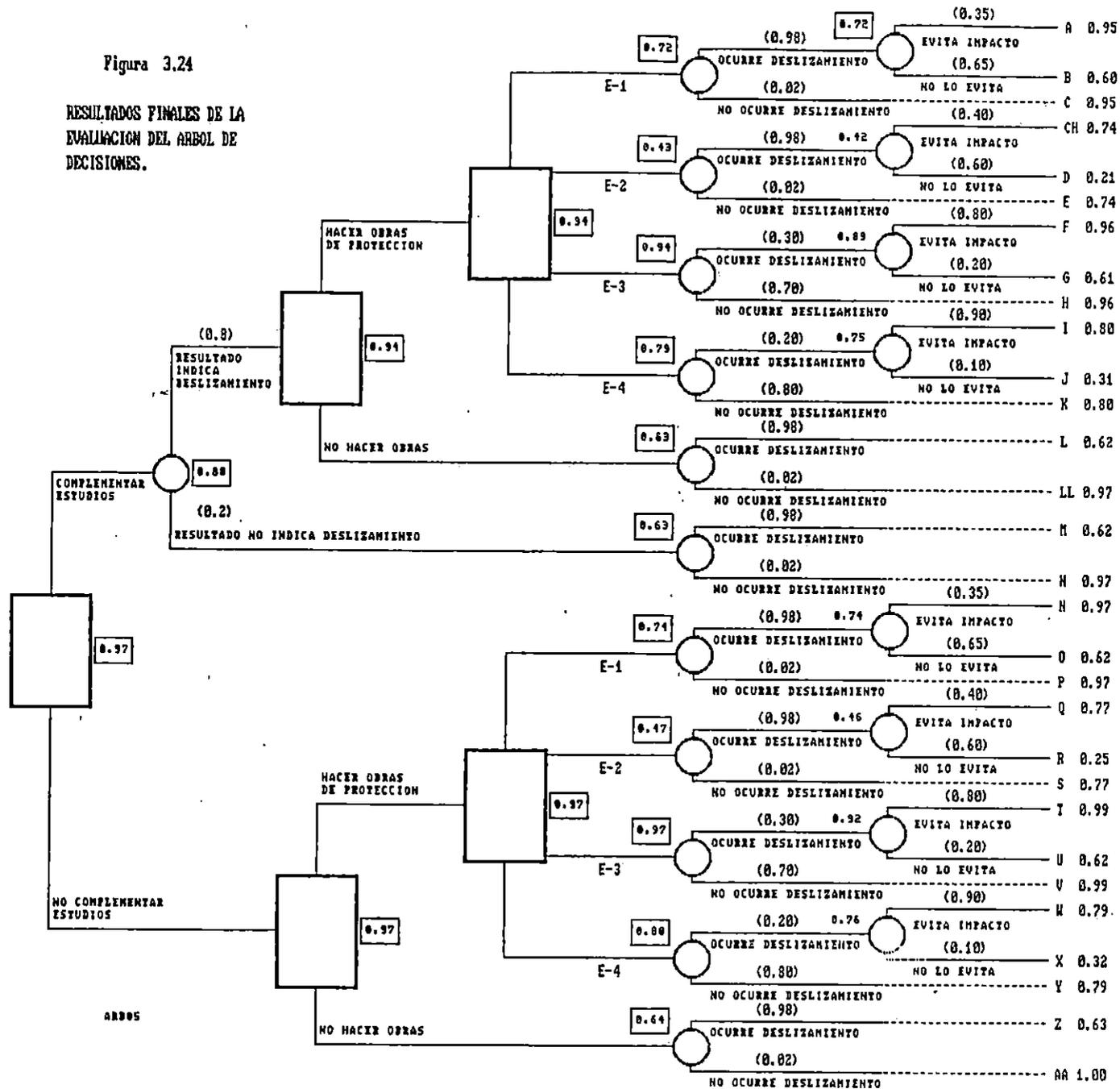


Figura 3.24

RESULTADOS FINALES DE LA  
EVALUACION DEL ARBOL DE  
DECISIONES.



### 3.4.1.1 Selección de la Estrategia Óptima.

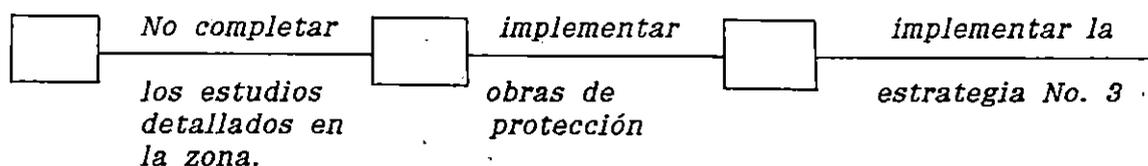
Los resultados de la evaluación del árbol de decisiones, se muestra en forma detallada en la figura 3.24, y se señala además, la ruta que representa la estrategia óptima.

De la Figura 3.24 se obtiene que la estrategia óptima a implementar, para eliminar el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, es la que se muestra a continuación.

Fig. 3.25

#### ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR

PARA UN  $t_r=50$  años



Al implementar el camino descrito en la figura 3.25 ejecutando la estrategia  $\pi^2_3$  se deben realizar los estudios necesarios para obtener el diseño definitivo con todos los detalles de dicha estrategia, incrementando los costos adicionales a los descritos en el Cuadro No. 3.3. Es decir, que en la rama donde se dice que no se deben complementar estudios detallados en la zona, ésto se refiere a estudios generales para conocer el peligro de un nuevo deslizamiento de tierra.

CAPITULO IV  
APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL PROBLEMA  
DE LAS INUNDACIONES

4.1 GENERALIDADES

*La causa básica de la mayoría de las inundaciones es la incidencia de fuertes lluvias.*

*En muchos casos, las lluvias que originan las inundaciones con mayores efectos destructivos son las que acompañan a los tifones, huracanes u otros ciclones tropicales. Las inundaciones catastróficas causadas por las lluvias se agravan por la acción del viento, generalmente a lo largo de la línea costera. Usualmente las intensidades de precipitaciones son elevadas y la zona de tempestad es amplia; factores que, combinados, pueden provocar caudales de crecida extrema en las cuencas fluviales adyacentes, ya sean estas grandes o pequeñas.*

*Las precipitaciones que producen crecidas importantes, pueden ser también de carácter extratropical o frontal, o podría ser también el resultado de una gran depresión atmosférica, con vientos saturados de humedad que se desplazan desde un medio marino hacia una masa terrestre. En estos casos, las precipitaciones son extensas y copiosas. La intensidad puede ser elevada y en ellas influye generalmente el relieve topográfico.*

*La influencia de la geología del terreno en las inundaciones, es de notoria importancia puesto que la escorrentía es modificada por la vegetación, y, por las características del suelo y roca superficial en la cual la precipitación pluvial tiene lugar.*

*La erosión de la superficie del terreno es determinada por las propiedades*

físicas del suelo y por la vegetación. Además, la naturaleza y cantidad de materiales transportados por la creciente es influenciada por las propiedades del suelo y por las rocas superficiales. La naturaleza del material depositado por el agua de avenidas es también afectada por factores geológicos; así, si la vertiente consiste de suelos pobremente consolidados o sedimentarios de granos finos, producirá desechos consistentes de lodo y fango.

Para el caso del suelo de roca sólida podría esperarse obtener productos de erosión más gruesos. La proporción de material fino a grueso es determinada por la intensidad de precipitación, por la inclinación de las pendientes y, por las características físicas de la composición de las rocas en el área de drenaje.

Parte de la precipitación es interceptada por la vegetación; en los aguaceros de corta duración toda la precipitación podría ser retenida por la vegetación o la hierba y regresar a la atmósfera por la evaporación. La retención disminuye cuando el follaje está saturado y llega a ser insignificante en tormentas prolongadas.

El ciclo hidrológico toma en cuenta todos los factores mencionados y juega un papel importante en las inundaciones. El agua que se infiltra puede encontrar el nivel freático y moverse lateralmente llegando a contribuir, a menores elevaciones, a las corrientes superficiales. Su flujo es más lento que el de la escorrentía y llega a las corrientes de agua mucho tiempo después y por consiguiente no aumenta el flujo de la inundación.

En determinadas regiones los depósitos altamente permeables tienen a poca profundidad superficies impermeables subyacentes y en estos casos el agua que se infiltra podría moverse con velocidad comparable a la escorrentía superficial; este tipo de flujo es conocido como flujo superficial de tormenta.

Cuando estos dos flujos llegan a las corrientes concurrentemente, se

combinan y aumentan el flujo de la inundación (16).

La capacidad de infiltración de una vertiente o porción de ella es la proporción en la cual puede ser absorbida. Algunos factores que afectan la infiltración incluyen: el contenido de humedad, la permeabilidad del suelo y sus espesores.

La humedad del suelo es el factor de mayor influencia. La capacidad de infiltración es mayor al comienzo de la tormenta y cuando los poros del suelo están vacíos y decrece conforme la lluvia continúa.

El flujo de escorrentía sobre el terreno ocurre solamente cuando la proporción de precipitación excede a la capacidad de infiltración. Cuando esta condición se satisface, las depresiones superficiales comienzan a inundarse y comienza la correntía. El volumen de agua requerido para llenar las irregularidades de la superficie y cavidades es conocido como depresión de almacenamiento y éste es finalmente regresado a la atmósfera o está sujeto a baja infiltración, dependiendo de las características superficiales del terreno.

Del total de la precipitación de la tormenta parte es perdida a través de la evaporación o transpiración y parte se mueve a través de los intersticios del suelo o fracturas rocosas. La fracción de agua que excede a las cantidades perdidas a través de la intercepción y evaporación, transpiración y retenidas por infiltración lenta, constituye la escorrentía superficial rápida, la cual contribuye a la inundación.

En los ríos grandes se presentan crecientes lentas en contraste con las crecidas fulminantes comunes en pequeñas áreas de captación. Las crecidas fulminantes son fenómenos en que transcurre muy poco tiempo entre el inicio de la crecida y su gasto máximo. Estas crecidas son muy peligrosas debido a lo repentino de su aparición y a la rapidez con que se producen.

Van asociadas a una precipitación intensa, aislada y localizada, que se origina en forma de tormenta o tornado con vientos destructores. Es difícil mantener un sistema de vigilancia de este tipo de crecidas debido a la gran cantidad de pequeñas áreas de captación dentro de una sola región. El potencial y extensión finales de la crecida fluvial puede deberse a dos o más fenómenos superpuestos, no siempre de naturaleza hidrometeorológica. (16)

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

##### 4.2.1 Ubicación Geográfica

La cuenca del río Grande de San Miguel posee un área aproximada de 2248.8 KM<sup>2</sup> (7), situada al oriente del país, en los departamentos de Usulután, La Unión, Morazán y San Miguel. Geográficamente, está ubicada entre las coordenadas 87°58' y 88°28' de longitud Oeste y; 13°12' y 13°48' de latitud norte.

Entre las poblaciones comprendidas en la cuenca se pueden citar los municipios de Santa Elena, Ereguayquín, San Rafael Oriente, El Tránsito, Yayantique, Quelepa, Jocoero, Moncagua y Chapeltique; y las ciudades de Usulután, San Francisco Gotera y San Miguel. Ver fig. No.4.1 (7)

##### 4.2.2 Morfología

La topografía de la cuenca es bastante variada y sus elevaciones oscilan entre los 20 msnm en la desembocadura del río en el canal de Santa Rita, y los 2129.44 msnm en el volcán de San Miguel.

De acuerdo a la topografía, la pendiente del terreno y el tipo de drenaje, se pueden distinguir tres subcuencas.

La cuenca alta que está formada en su mayor parte por terrenos abruptos y de gran pendiente, y que se encuentra ubicada hasta la divisoria que va desde



los alrededores de la laguna seca El Pacayal, pasando por el volcán y la ciudad de San Miguel hasta el límite Este de la cuenca, entre los cerros Ventarrón y Yayantique.

La cuenca media comprende desde la divisoria de la cuenca alta hasta la divisoria que va desde la Laguna Seca El Pacayal, pasando por el volcán de San Miguel y la desembocadura del río La Pelota al límite Sur de la cuenca entre los cerros Madrecacao y El Arco.

La cuenca baja comprende desde la desembocadura del río La Pelota hasta la desembocadura del río Grande de San Miguel en el canal Santa Rita y Bocana La Chepona. (7)

En la figura No. 4.2 se muestran las principales elevaciones de la cuenca y la divisoria de las cuencas alta, media y baja.

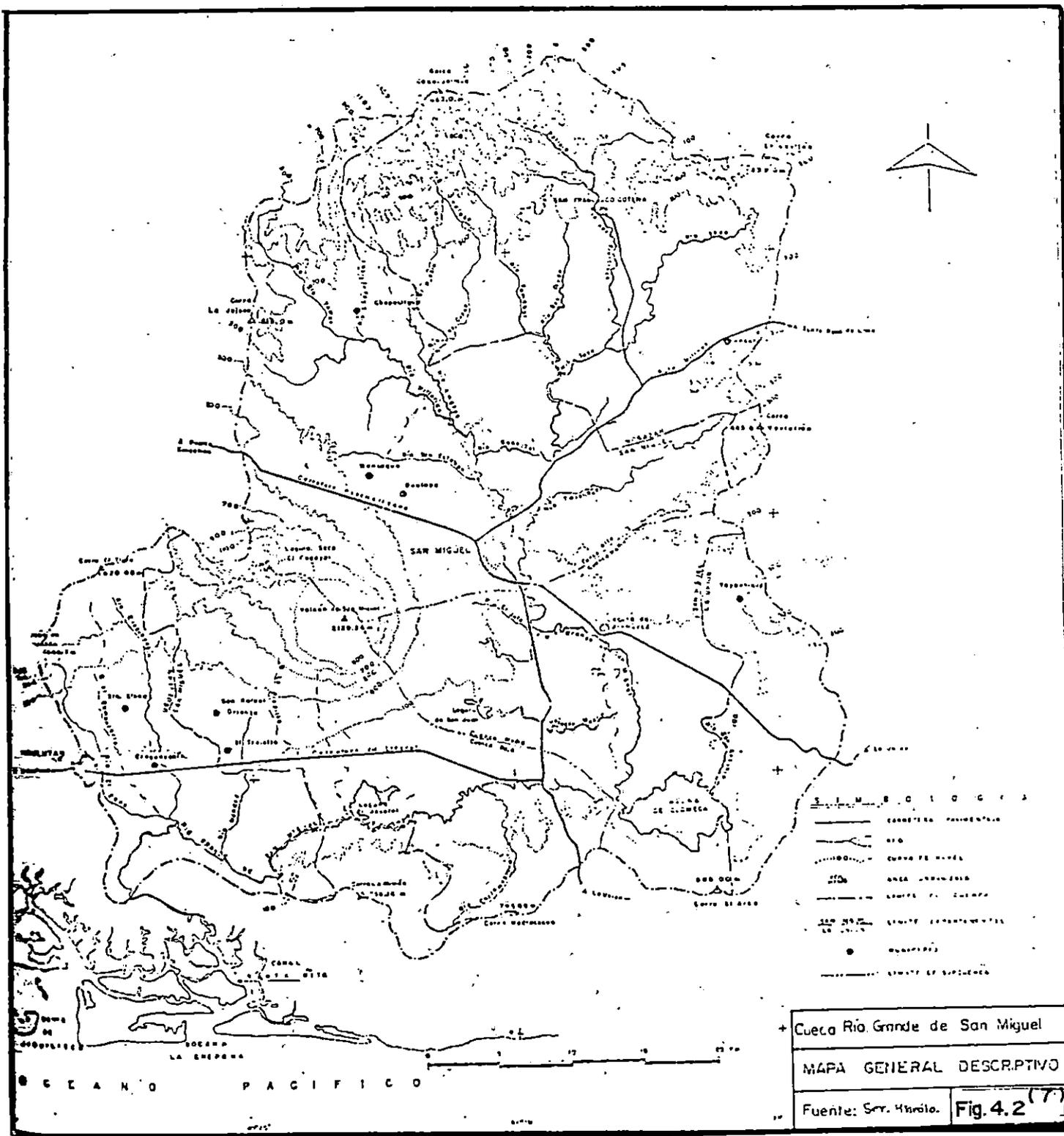
#### 4.2.3 Drenaje

El drenaje en la cuenca del río Grande de San Miguel es del tipo dentrítico en su mayor parte y radial en los alrededores de los volcanes de Usulután y de San Miguel. La longitud del cauce principal es de 126.7 Km y la del cauce más largo de 137.0 Km aproximadamente.

La cuenca alta la constituyen cauces de gran pendiente entre las que se destacan los ríos afluentes; Villerías, Amates, Corozal, Seco, Taishuat y San Esteban.

En la cuenca media se sitúan una gran cantidad de pequeños cursos de agua, en su mayoría de primero y segundo orden y que drenan al volcán de San Miguel. Estos cauces aunque no desembocan en el curso principal del río, contribuyen a la recarga del acuífero.

La cuenca baja posee características similares a la cuenca media, a



diferencia de que la constituyen pequeñas vaguadas de primer orden. En esta zona los afluentes de mayor importancia lo componen el río Hoja de Sal, el río Ereaguayquín y el río Méndez.

En el cauce principal del río Grande de San Miguel en la parte alta de la cuenca, la pendiente oscila alrededor de 18%, y en forma brusca la pendiente cambia al 1% a partir del sitio Villerías al sitio de Vado-Marín, mostrado en el perfil longitudinal del río Grande de San Miguel (Fig. No. 4.3). Este cambio brusco de pendiente permite que los materiales sean depositados en este trayecto del río y aunado al hecho de que se cuente con un área de aportación equivalente al 85% del área total de la cuenca, hace que se aumente la producción de escorrentía superficial, al aumentar el área de drenaje. Por otra parte, las condiciones de saturación del suelo, el nivel de la napa freática, cercana a la superficie y las áreas pantanosas de la cuenca, son los signos que caracterizan a la planicie de la cuenca media y baja de ser tierras susceptibles a inundarse. (7)

#### 4.2.4 Clima

La cuenca del río Grande de San Miguel posee una elevación media de 279.58 msnm (7), es decir, que el 50% de la superficie posee una elevación por debajo de esta cota, razón por la cual la cuenca puede ser clasificada de acuerdo a su altura como una sabana tropical caliente o tierra caliente.

La distribución anual de las lluvias en la cuenca del río Grande de San Miguel varía al igual que en todo el país, con la época del año, precipitándose la mayor cantidad de lluvia, durante los meses de junio, septiembre y octubre, con una notable disminución en los meses de julio y agosto.

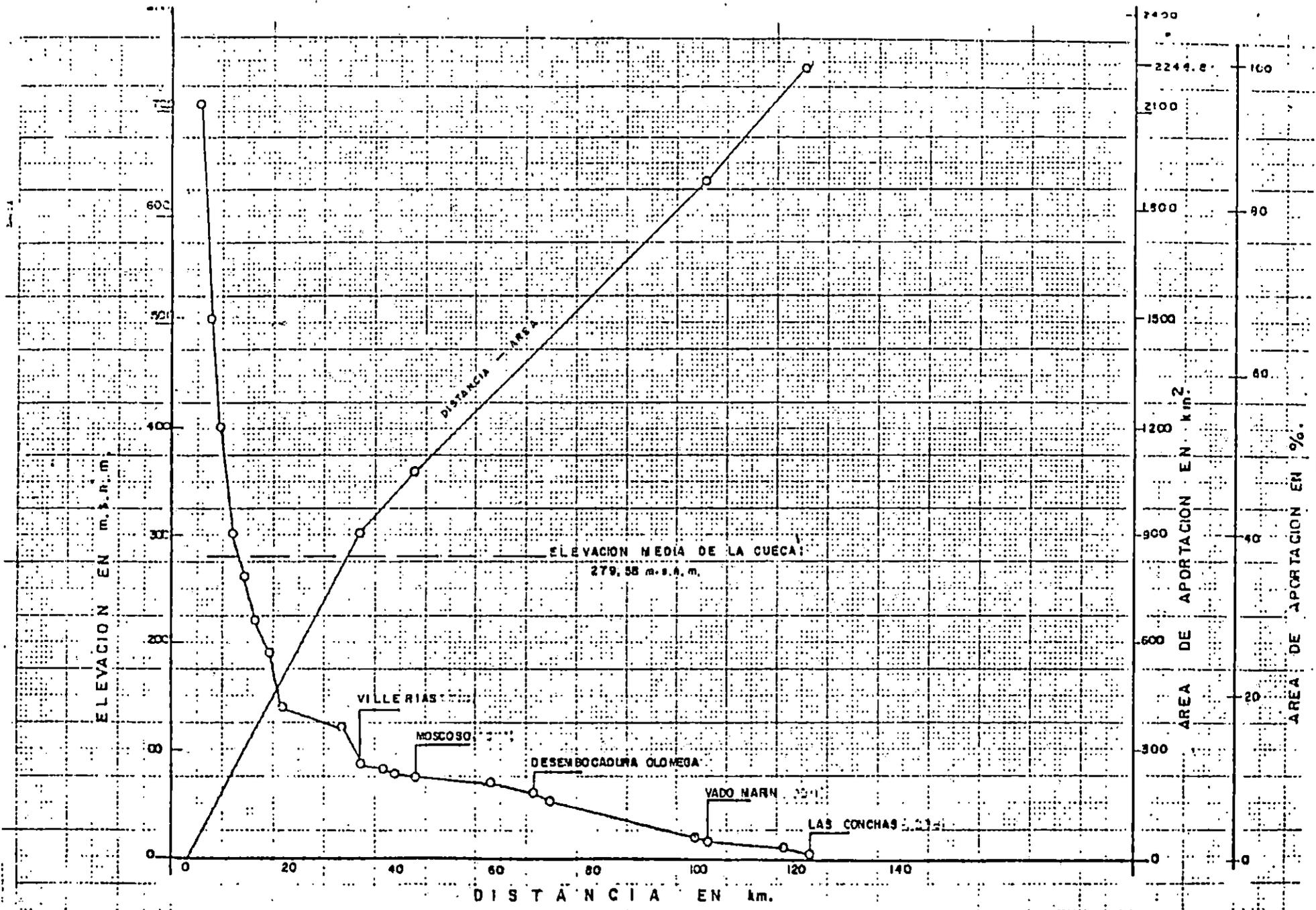


FIG. N° 4.3 PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL (7)

### 5.2.5 Suelos

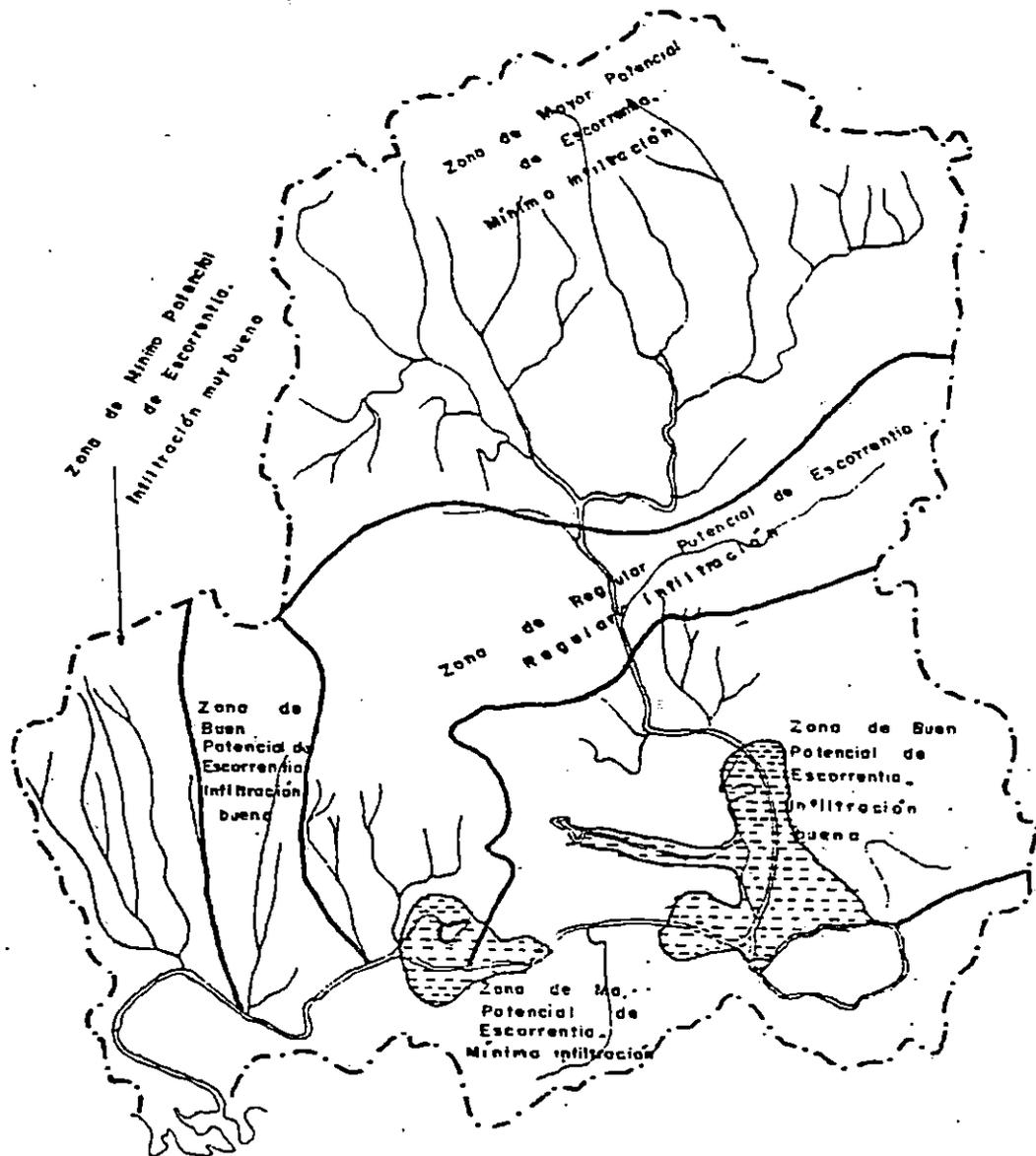
La cuenca del río Grande de San Miguel posee una pendiente media del 12.49% (7), valor que guarda relación con el grado de infiltración de la escorrentía, con la humedad del suelo y con la contribución del agua subterránea a la corriente del cauce.

Desde el punto de vista hidrológico los suelos pueden clasificarse en base a la relación que guardan con el grado de escurrimiento e infiltración, en la cuenca alta, partiendo de la confluencia de los ríos Grande de San Miguel con Taisihuat; y en la parte sur, desde el cauce principal del río hasta el límite de la cuenca (montañas de Jucuarán), son suelos de mayor potencial de escurrimiento y mínima infiltración, compuestas en su mayoría por rocas volcánicas, tales como aglomerados densos y lavas básicas.

La cuenca media la constituyen suelos de regular grado de infiltración y escurrimiento, a buena capacidad de infiltración; pues son suelos compuestos por piroclastos, aluviones, gravas y arenas. Entre las faldas del volcán de San Miguel y el volcán de Usulután, se encuentran los suelos con un potencial mínimo de escurrimiento y muy buena infiltración; éstos son suelos de recarga, constituidos por complejos volcánicos, aluviones, gravas y arenas (Ver Figura No. 4.4).

### 4.3 ANTECEDENTES

En la cuenca del río Grande de San Miguel se distinguen tres zonas con problemas de inundación. La primera situada en la cuenca media entre las cotas 60 y 70 msnm y que comprende un área conformada por el río Grande de San Miguel (2.5 Km aguas abajo de la Laguna de Aramuaca), laguna de San Juan, laguna de Olomega y río San Antonio, llamada planicie Olomega (Fig. No. 4.5).



OCEANO PACIFICO



AREA INUNDADA

CUENCA DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL  
SUELOS HIDROLOGICOS

FUENTE:	Esc. 1:415,000
SERVICIO HIDROLOGICO	FIG. 4.4

89° 20'

89° 10'

La segunda planicie de inundación se localiza entre las cotas 20 a 25 msnm y se extiende a partir de la margen derecha del curso principal, comenzando en la canoa (aproximadamente 1 Km aguas abajo de la estación hidrométrica Vario-Marín, llamada planicie El Jocotal (Fig. No. 4.6). En la cuenca baja existe una pequeña planicie inundable entre las cotas 17 y 23 msnm y que se extiende a partir de la margen derecha del curso principal, comenzando en Morolapa (aproximadamente 4.9 Km aguas abajo de la estación hidrométrica Vado-Marín), intersectando el río Méndez y Archila, hasta la confluencia del río Grande con el río Ereguayquín, llamada planicie Morolapa (Figura No. 4.7). (7)

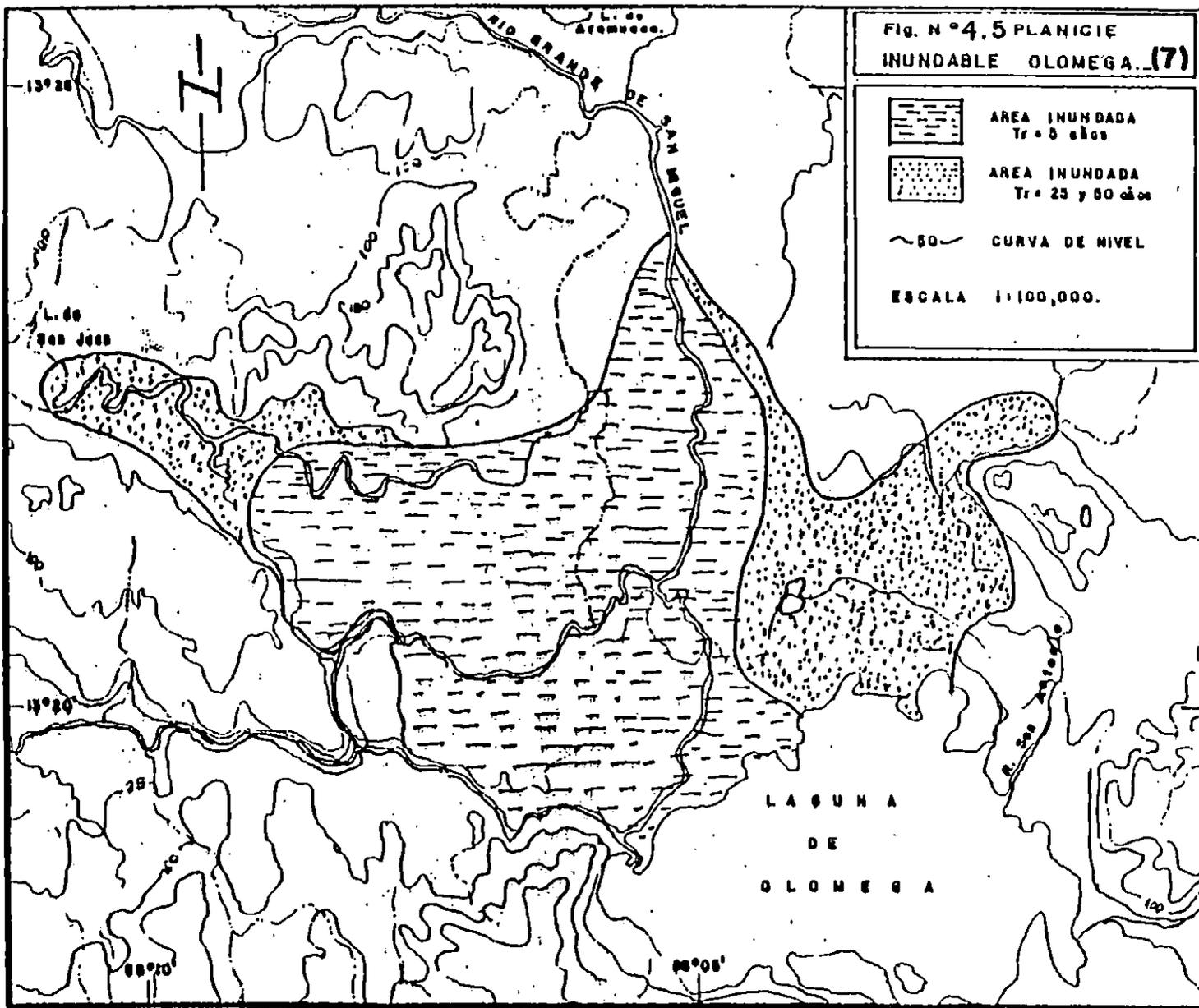
Las inundaciones que se han dado constantemente en estas zonas, se pueden clasificar en dos tipos.

a) Las producidas por caudales máximos, fuera de los normales que alcanzan niveles superiores repentinamente, cubriendo áreas relativamente pequeñas, producidas por el desbordamiento de los cauces. Un ejemplo típico lo constituye la planicie de la cuenca media, aguas abajo de la ciudad de San Miguel, que se ve amenazada por las crecidas repentinas originadas en la cuenca alta.

b) Inundaciones asociadas a ciertos fenómenos que contienen caudales máximos que transportan grandes volúmenes de agua, alcanzando niveles máximos lentamente y cuyos períodos de recesión son del orden de días, semanas; ejemplo típico lo constituyen las inundaciones en la planicie de la cuenca media-baja, cuyo origen es debido a la marcha de la Avenida de Moscoso, que se desborda sobre la planicie de inundación, con un mal sistema de drenaje superficial lento y débil.

Entre los casos de inundaciones más relevantes reportados como desastres, ocurridos en esta zona se pueden mencionar los siguientes:

- Desbordamiento del río Grande de San Miguel, ocurrido el 5 de septiembre



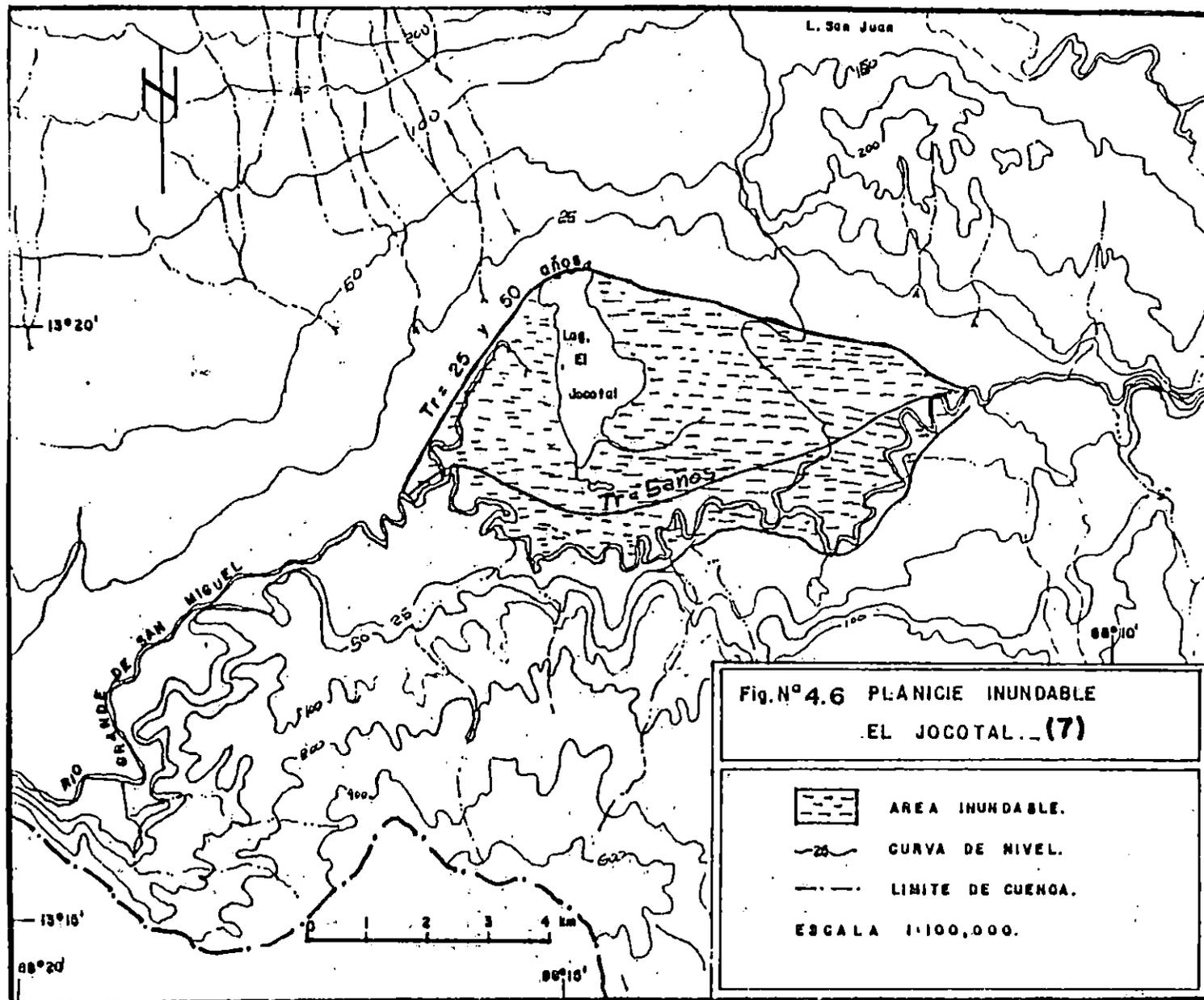
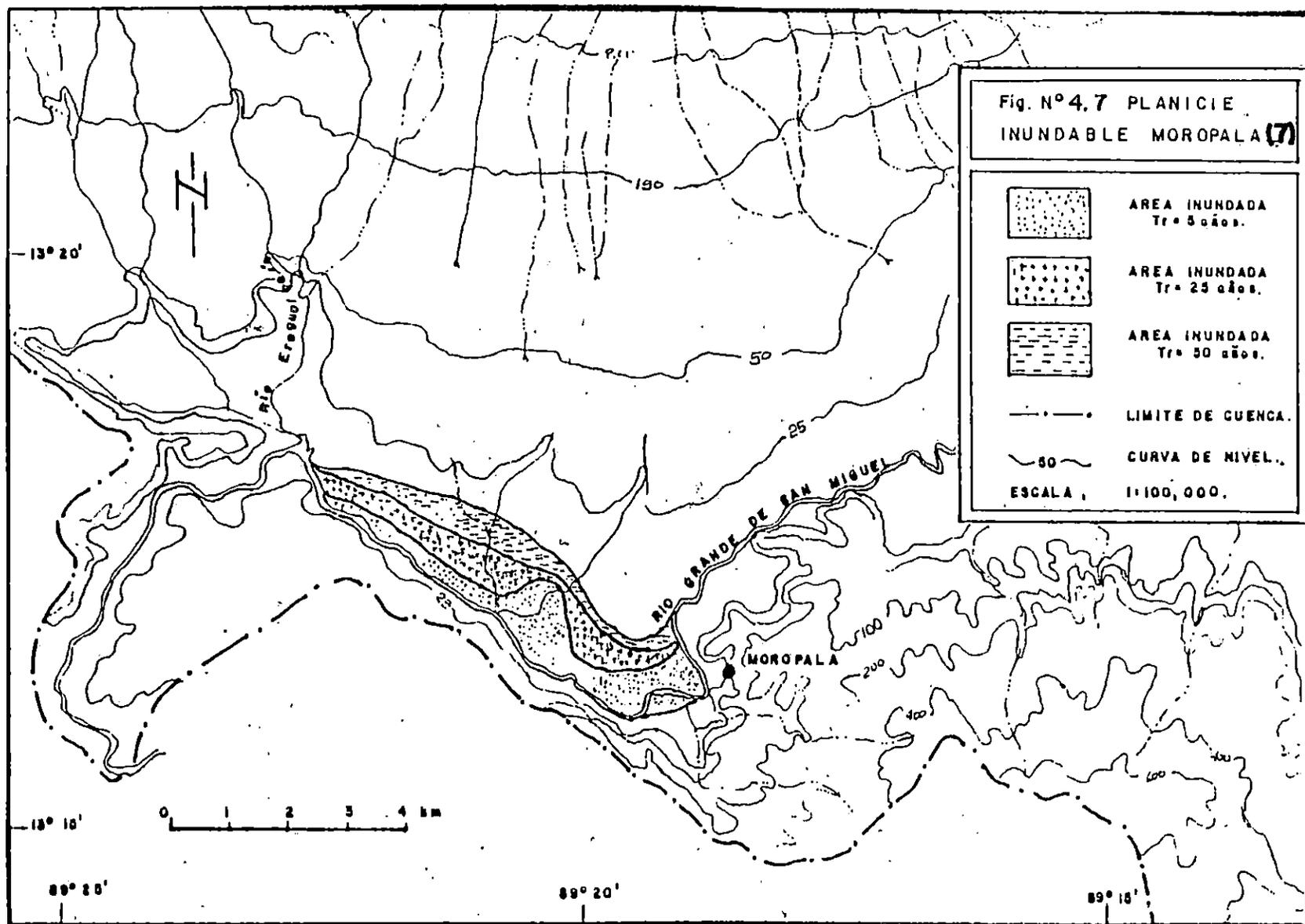


Fig. N° 4.6 PLANICIE INUNDABLE  
EL JOCOTAL... (7)

	AREA INUNDABLE.
	CURVA DE NIVEL.
	LIMITE DE CUENCA.
ESCALA 1:100,000.	



de 1969, causó daños y víctimas.

- Río Grande de San Miguel, desbórdase, inundando la zona de Olomega, causando víctimas entre sus habitantes, hecho ocurrido el 30 de julio de 1976.
- Fuertes lluvias originan el desbordamiento del río Grande de San Miguel, inundando amplias zonas del Puerto Parada, ocurriendo en septiembre de 1989.

FUENTE: Registro de crecidas ocasionadas por el río Grande de San Miguel.  
Centro de Recursos Naturales.

#### 4.4 APLICACION DE LA TEORIA DE DECISIONES AL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES, PROVOCADAS POR EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL.

##### Introducción

La aplicación de la teoría de decisiones al problema de las inundaciones se hace igual que para el caso de los deslizamientos de tierra, a través de la construcción del diagrama o árbol de decisiones; y este árbol constituye la herramienta básica para tomar una decisión sobre qué hacer en la búsqueda de soluciones para un problema en particular.

Es decir, a través de la evaluación del diagrama se obtiene la estrategia óptima que será la solución para alcanzar ciertos objetivos.

Para el caso de las inundaciones provocadas por el río Grande de San Miguel, principalmente en las planicies de Olomega, El Jocotal y Morolapa, fundamentalmente los objetivos perseguidos, son el de salvar vidas humanas, evitar destrucción de cultivos y evitar destrucción de infraestructura. Como solución para alcanzar dichos objetivos se cuenta con cuatro estrategias, que se

detallan en la descripción del problema y que se muestran en el árbol de decisiones, de donde se obtendrá después de la evaluación la que garantice el cumplimiento de los mismos.

#### 4.4.1 Descripción del Problema

La actividad humana en la cuenca del río Grande de San Miguel, se ve permanentemente amenazada, y se desarrolla en gran parte sobre la base de ocupación de áreas sujetas a eventuales episodios catastróficos, tales como las inundaciones de larga duración que abarcan superficies considerables (entre la cuenca media y baja principalmente), y las de corta duración que afectan áreas menores, pero de mayor violencia relativa (principalmente en la cuenca media entre la Laguna de Olomega).

De acuerdo a las características físicas que presenta la cuenca del río Grande de San Miguel, en cuanto a la morfología, tipo de drenaje, clima, suelos, etc, así como las cantidades de lluvias anuales precipitadas, principalmente en los meses de junio, septiembre y octubre, hacen a ciertas áreas de esta cuenca susceptibles a sufrir nuevas inundaciones, que provocarían como en el pasado, destrucción de cultivos, daños a viviendas y en el peor de los casos, víctimas humanas en las poblaciones aledañas. Las zonas con mayor riesgo de continuar siendo afectadas por nuevas inundaciones, son principalmente la planicie de Olomega (Fig. No. 4.5), planicie el Jocotal (Fig. 4.6) y la planicie Moropala (Fig. No. 4.7) donde se localiza un gran porcentaje de las mejores tierras agrícolas, de la cuenca del río Grande de San Miguel.

Otra causa que ha agravado aún mas el problema de las inundaciones en esta zona, es la continua deforestación que ha sido sometida la cuenca, sustituyendo vegetación natural, por cultivos no permanentes; los cuales han

alterado en alguna forma el ciclo hidrológico, permitiendo un mayor escurrimiento superficial, arrastrando grandes cantidades de sedimentos, hacia el cauce del río.

Con el objeto de evitar o disminuir el impacto de nuevas inundaciones, se hace necesario antes de la ejecución de cualquier estrategia de solución, implementar un ordenamiento espacial para la prevención de daños y mitigación de desastres originados por las crecidas, este ordenamiento puede consistir en lo siguiente:

a) Area prohibitiva de toda actividad humana, constituida por el cauce menor y el cauce mayor del río. El cauce mayor se refiere a aquel que está sujeto a crecidas normales, cuya frecuencia de presentación es de alrededor de una cada dos años.

Aquí solamente se permiten actividades ocasionales como la pesca y el turismo.

b) Area con restricciones a la actividad económica.

El agua del cauce se desborda cubriendo extensas planicies de inundación. La frecuencia de que se presente una crecida de este tipo, es de una cada dos a cincuenta años. En esta área la actividad agropecuaria extensiva, la actividad industrial y urbanística no son aconsejables.

c) Area de emergencia excepcional, sometidas a inundaciones extraordinarias o avenidas con efectos muy graves. En estas zonas la actividad es muy variada e intensa de todo tipo (o puede haberla en el futuro), y los daños provocados por este tipo de inundaciones puede ser catastrófico. La frecuencia de este tipo de eventos es del orden de 1 en 50 años o más. Las características de estos eventos suelen ser una lluvia intensa de duración prolongada en grandes áreas

(16).

*El espaciamiento recomendado se muestra en la Fig. No. 4.8.*

*Implementado el ordenamiento espacial se pueden ejecutar estrategias de solución, para evitar nuevas inundaciones o disminuir el impacto de éstas, dentro de las cuales el tomador de decisiones podrá seleccionar una de ellas. Las estrategias propuestas se detallan a continuación.*

#### *4.4.1.1 Estrategia No. 1 (E-1)*

##### *Establecimiento de un Sistema de Alerta de Crecientes.*

*La finalidad de un sistema de alerta de crecientes, es indicar anticipadamente, antes de que llegue a ocurrir, la altura o niveles que alcanzará un río en un determinado lugar o momento.*

*En este sentido, un sistema de alerta de crecientes puede convertirse en una medida para la predicción a las poblaciones, en zonas amenazadas por inundaciones e iniciar medidas de protección.*

*La alerta de crecidas puede emitirse con una anticipación de horas y a veces días.*

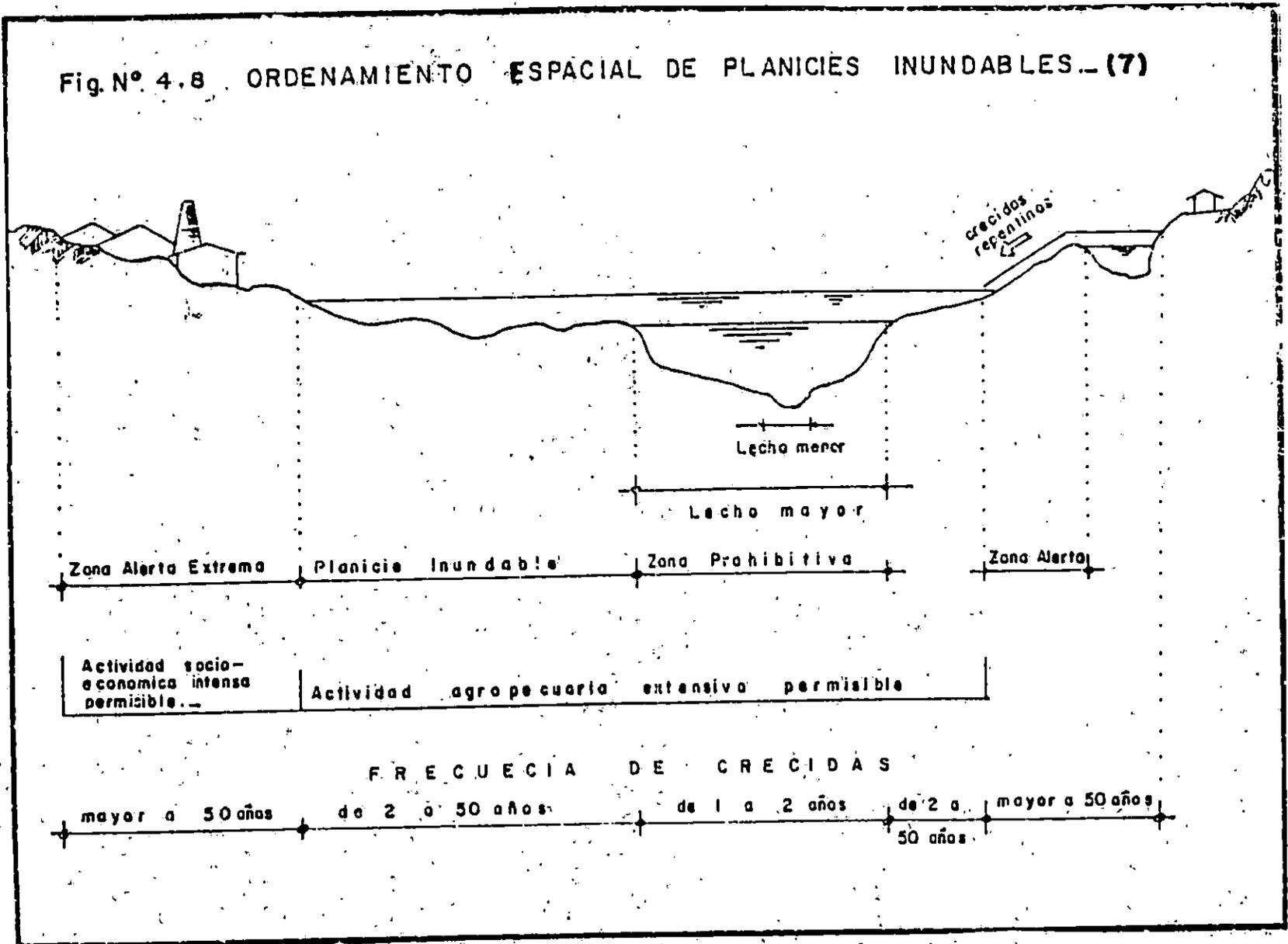
*En la cuenca del río Grande de San Miguel, donde el tiempo de anticipación es de 7 a 8 horas en San Miguel\*, el problema se reduce a la detección de crecidas repentinas.*

*Para estos casos se requiere una rápida detección de las precipitaciones que podrían ocasionar inundaciones y una emisión de avisos de alertas a tiempo, para salvar vidas y reducir las pérdidas.*

*El sistema de alerta de crecientes que se propone para la cuenca del río Grande de San Miguel, es el siguiente:*

*Sistema de toma de datos en tiempo real.*

Fig. N° 4.8 ORDENAMIENTO ESPACIAL DE PLANICIES INUNDABLES... (7)



Para este sistema se han seleccionado las siguientes estaciones telemétricas: la estación San Francisco Gotera, con censor de precipitación y las estaciones de Moscoso y Olomega en Puerto Viejo, con sensores de nivel de agua. Los datos serían telemetrados por medio de sistemas VHF (ver Fig. No. 4.9) o por medio de los satélites TIROS-N/ARGOS (Ver Figura 4.10 y 4.11) a una estación receptora de información que estaría ubicada en el sitio de la estación hidrométrica de Vado-Marín, las señales serían decodificadas, analizadas y procesadas, se formularían los pronósticos y el nivel de alarma para su difusión a los usuarios.

#### *Sistema de Procesamiento de Datos para Predicción.*

El sistema está compuesto de los siguientes elementos interrelacionados por medio de un computador (Ver Fig. 4.12).

La interfase con la red de tiempo real es la entrada de los datos decodificados.

Los procesos de predicción son un conjunto de programas archivados en el computador, encargados de manipular toda información de tiempo real y los destinados a generar los pronósticos tales como el hidrograma unitario y el método de las isogramas utilizados en la generación de crecidas en la cuenca alta; las relaciones de niveles máximos Moscoso, Olomega, Vado-Marín y otros procesos que sean desarrollados.

Los archivos de información guardan los distintos análisis, los pronósticos, los diferentes parámetros utilizados en los puntos de control, la información del pronóstico anterior y su relación con los datos registrados.

#### *Sistema de información hidrometeorológica.*

Entre las finalidades del sistema de información hidrometeorológica es contar con información de respaldo para el sistema de tiempo real. A este respecto, el

Fig. N° 4.9 Sistema de toma de datos en tiempo real.  
Transmisión por radio. (7)

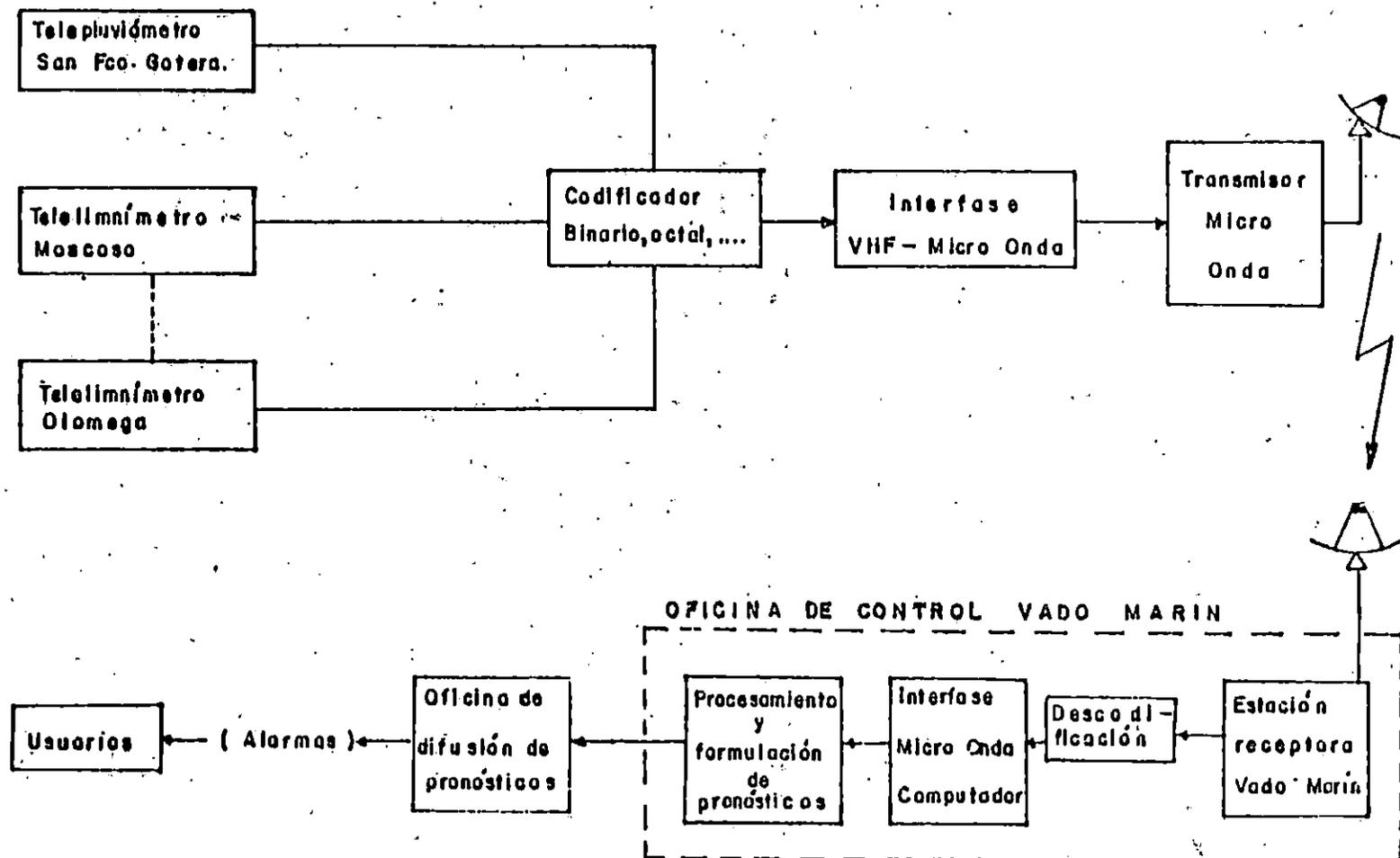


FIGURA N° 4.10 Sistema de toma de datos en tiempo real.  
Transmisión por satélite. (7)

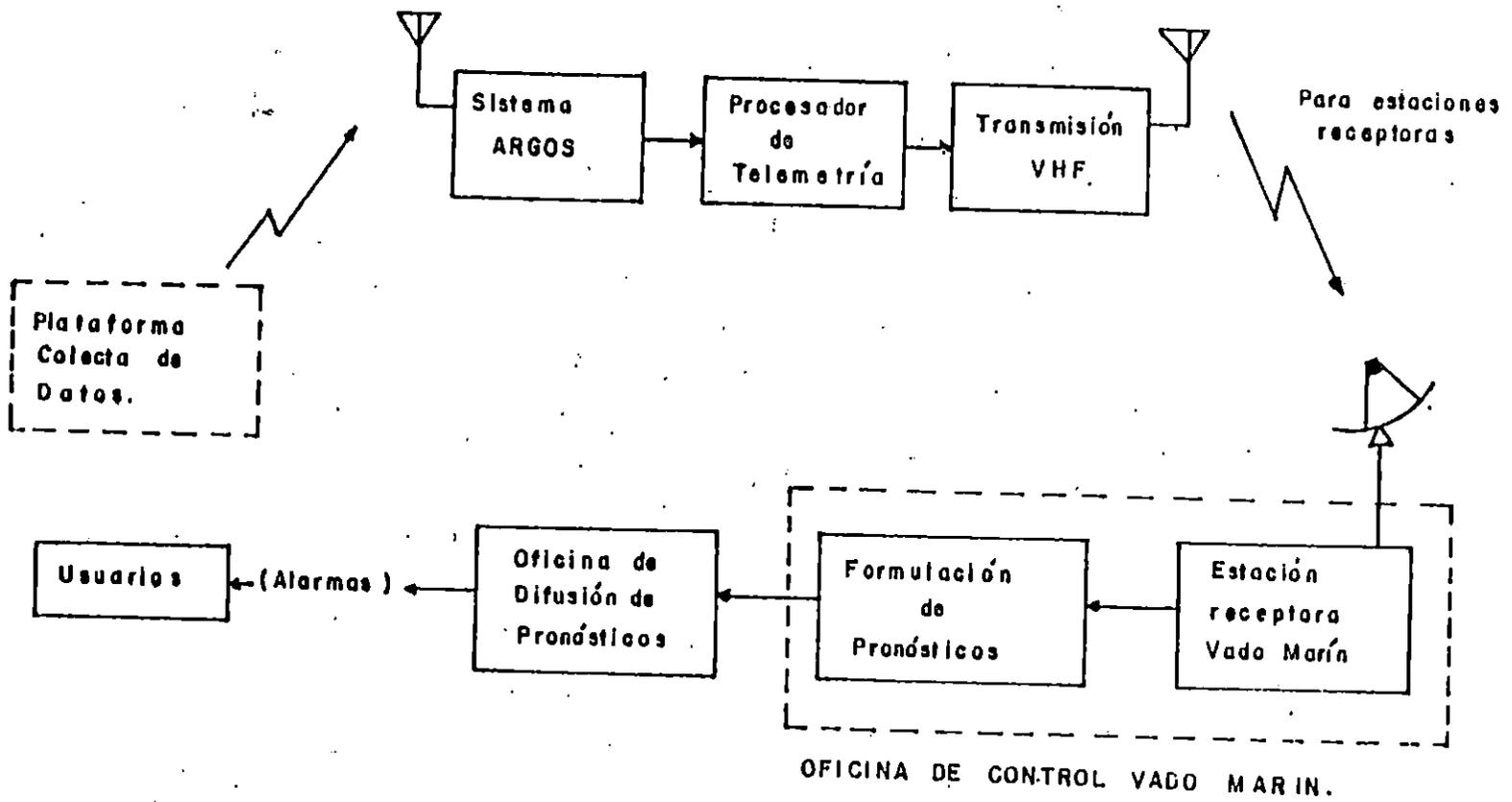


FIGURA N° 4.11 Diagrama de Plataforma Colecta de Datos. (7)

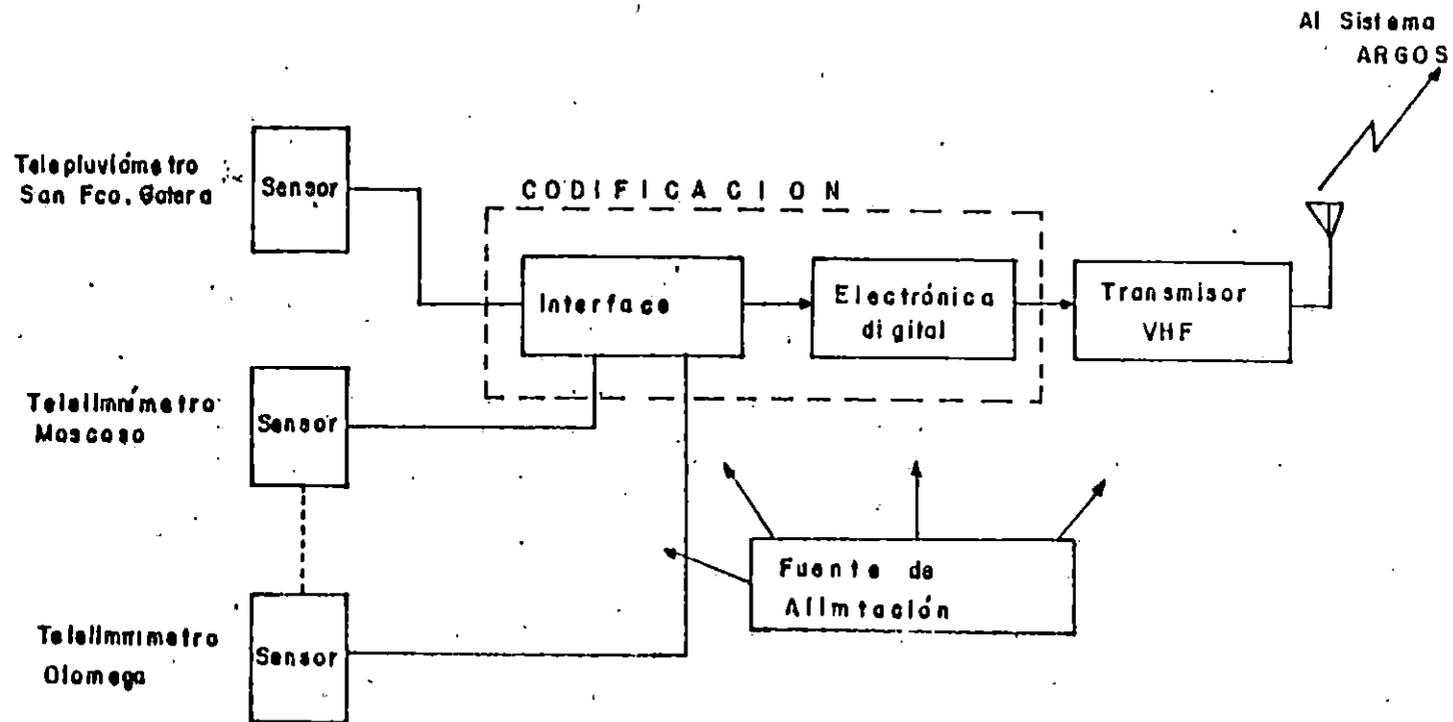
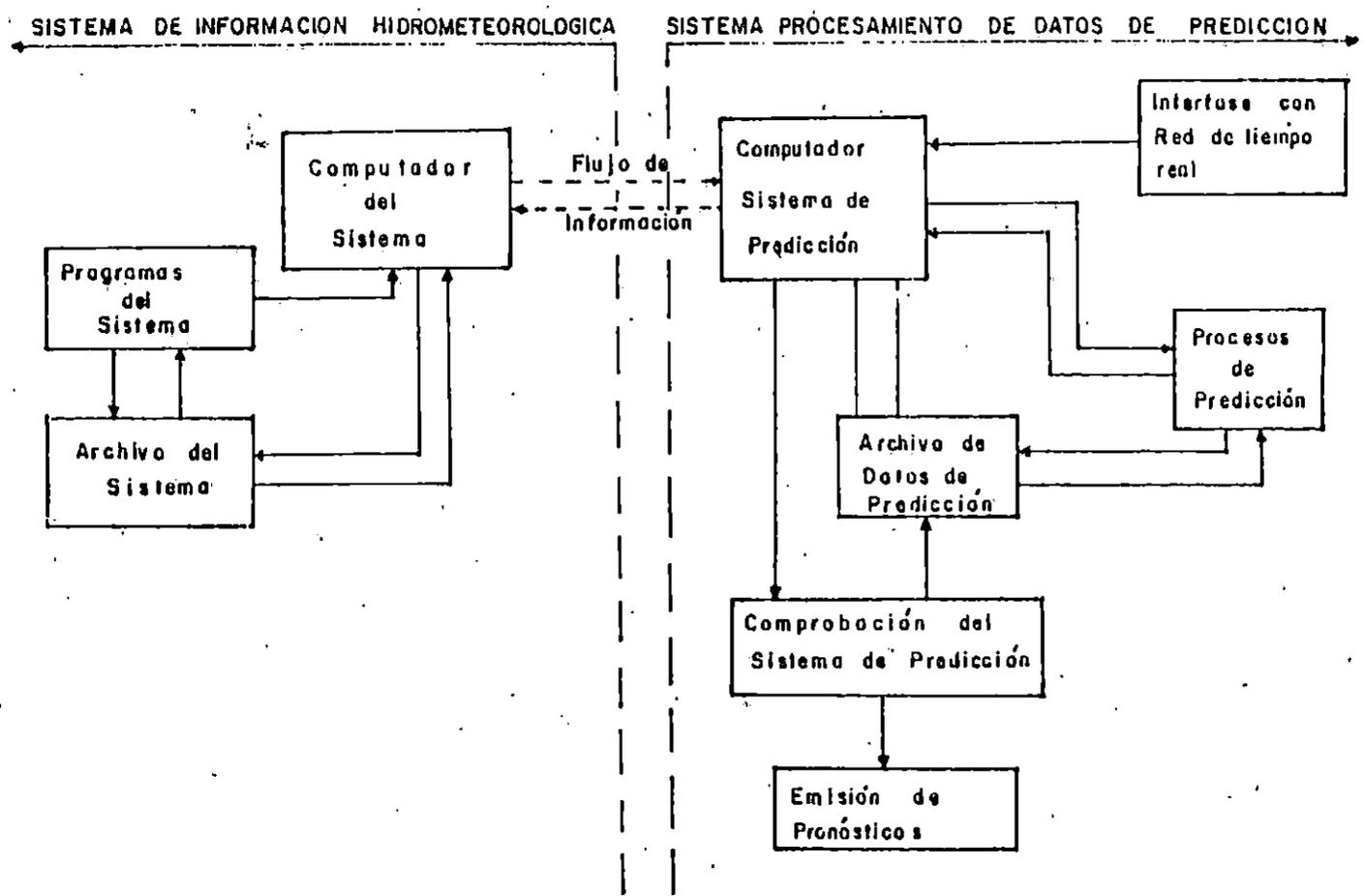


Fig. N° 4.12 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS DE PREDICCIÓN. (7)



Centro de Recursos Naturales tiene dentro de sus funciones, la operación del Banco de Datos Hidrometeorológicos y la elaboración de programas para diversos tipos de análisis que puedan servir para el ajuste y calibración del sistema de predicción y el desarrollo de nuevos procesos de predicción. (7).

#### 4.4.1.2 Estrategia II (E-2)

##### *Bordas para el Control de Inundaciones.*

Las secciones en el cauce del río Grande, que son capaces de transportar una creciente con un período de retorno hasta 50 años, sin peligro de desbordarse ni producir inundaciones, se encuentran entre el sitio de Moscoso y la Laguna de Aramuaca por una parte y, en las secciones de El Delirio, Vado-Marín y Las Conchas. Sin embargo, existe un gran tramo en el río Grande, entre la laguna de Aramuaca y la laguna de Olomega, otro menor entre el sitio de El Delirio y Vado-Marín y, entre Vado-Marín y las Conchas que el río se desborda inundando considerables superficies de tierra. En estos últimos trayectos las secciones del río Grande de San Miguel son incapaces hidráulica y geométrica-mente de transportar avenidas mayores a determinada cota o elevación.

Como una medida para aumentar la capacidad de las secciones transversales del río, a continuación se proponen la construcción de bordas de protección para el control de inundaciones.

##### *Tramo Laguna de Aramuaca, Laguna de Olomega.*

El volumen máximo que puede transportar el cauce del río en este tramo, sin desbordarse es de  $524.3 \text{ M}^3/\text{seg}$ . Volúmenes mayores que éste, deben ser encausados por medio de bordas de protección para evitar nuevas inundaciones, este cauce debe satisfacer el área hidráulica y el perímetro requerido, tanto en

la altura de borda como en el espaciamiento de estas con respecto al margen del río.

La altura de borda propuesta es de 1.5 mts y el espaciamiento dependerá del período de retorno considerado.

En el siguiente cuadro se muestra el mínimo espaciamiento de bordas de 1.5 mts de altura, asociadas a determinado período de retorno.

CUADRO No. 4.1

ESPACIAMIENTO DE BORDAS DE 1.5 MTS DE ALTURA  
ASOCIADAS A DETERMINADO PERIODO DE RETORNO  
(TRAMO ARAMUACA-OLOMEGA)

PERIODO DE RETORNO DE CRECIENTES EN AÑOS.	CAUDAL ESPERADO M <sup>3</sup> /s	CAUDAL CUBIERTO M <sup>3</sup> /s	ESPACIAMIENTO A PARTIR DE LA MARGEN (mts)
1	480	524	No es necesaria
5	840	868	50
25	1,050	1,058	135
50	1,130	1,178	180

La longitud aproximada de las bordas es de 10.5 Km en la margen derecha y de 8.0 Km en la margen izquierda.

Tramo el Delirio-Vado Marín.

En este tramo se produce un desbordamiento del cauce de la margen derecha, hacia la planicie de inundaciones, en la margen izquierda existe un ligero confinamiento del cauce debido a la cordillera de Jucuarán, que en cierta forma favorece al control de las inundaciones.

Para el tramo El Delirio-Vado Marín, la capacidad hidráulica máxima del río es a la cota 34.0 msnm aproximadamente de  $a = 229.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , sin que se produzcan desbordamientos del río.

En el cuadro siguiente se muestra el mínimo espaciamiento de bordas de 1.5 mts., de altura, asociadas a un período de retorno.

CUADRO No. 4.2

ESPACIAMIENTO MINIMO DE BORDAS DE 1.5 MTS DE ALTURA  
ASOCIADOS A DETERMINADO PERIODO DE RETORNO  
(TRAMO EL DELIRIO-VADO MARIN)

PERIODO DE RETORNO DE CRECIENTES EN AÑOS.	CAUDAL ESPERADO M <sup>3</sup> /s	CAUDAL CUBIERTO M <sup>3</sup> /s	ESPACIAMIENTO A PARTIR DE LA MARGEN (mts)
1	33	229	Sin borda
5	240	240	52
25	352	362	160
50	403	420	210

La longitud de las bordas es de 9.5 Km., espaciadas a partir de la margen derecha del curso principal del río.

*Tramo Vado Marín-Las Conchas*

*En este tramo, el río se desborda hacia la margen derecha a partir de Morolapa; situada 4.9 Km., aguas abajo de la estación hidrométrica Vado Marín, hasta la confluencia con el río Ereguayquín. En esta planicie el nivel de las márgenes del cauce varía entre los 17 y los 24 m.s.n.m. Para evitar un desbordamiento hacia la planicie se determinó como máxima capacidad hidráulica del río aquella que es capaz de transportar una crecida con un período de retorno de 1 año, la cual es de  $Q = 38 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , caudal con el cual no se han registrado inundaciones en esta zona. Se proponen bordas de 1.0 mts., de altura a partir de la margen derecha, espaciadas de la siguiente manera.*

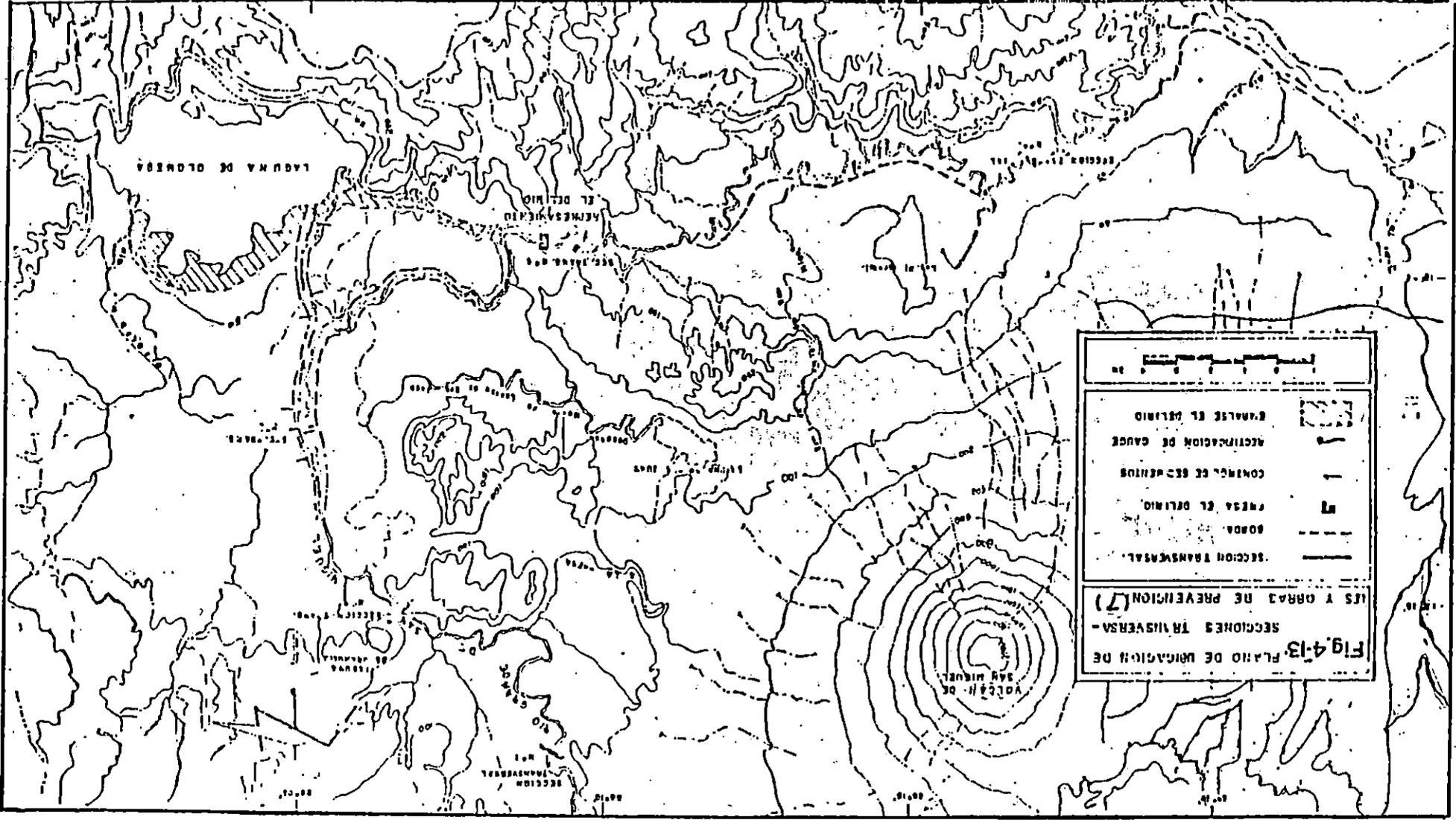
**CUADRO No. 4.3**

**ESPACIAMIENTO MINIMO DE BORDAS DE 1.0 MTS DE ALTURA  
ASOCIADO A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO  
(TRAMO VADO MARIN-LAS CONCHAS)**

<i>PERIODO DE RETORNO DE CRECIENTES EN AÑOS.</i>	<i>CAUDAL ESPERADO M<sup>3</sup>/s</i>	<i>CAUDAL CUBIERTO M<sup>3</sup>/s</i>	<i>ESPACIAMIENTO A PARTIR DE LA MARGEN (mts)</i>
<i>1</i>	<i>38</i>	<i>38</i>	<i>No es necesario</i>
<i>5</i>	<i>280</i>	<i>299</i>	<i>125</i>
<i>25</i>	<i>410</i>	<i>419</i>	<i>200</i>
<i>50</i>	<i>470</i>	<i>498</i>	<i>250</i>

*La longitud es de 7.5 Kms., aproximadamente (7)*

*La localización de las bordas se muestra en la Fig. No. 4.13*



#### 4.4.1.3 Estrategia III (E-III)

##### *Represamiento San Esteban para el Control de Crecientes*

Dentro de las obras proyectadas para el riesgo del sector Usulután-San Miguel, el represamiento San Esteban, situado aguas abajo de la confluencia de los ríos Guayabal y Cañas, en las proximidades del caserío Agua Zarca (Ver Figura No. 4.14), tiene como objetivo la derivación de un canal para riego y el control de las crecientes de la cuenca alta.

En esta sección se pretende controlar la crecida con un período de retorno de 50 años (vida útil de la presa); algunas de las características de diseño para esta obra son las siguientes: un canal aliviadero que después de un ligero ingreso alabeado, llega a un ancho en su base de 107 mts., que se mantiene igual en todo el tramo recto hasta un dique fusible, con un desvío abocinado en una curva hacia la derecha que termina en 27 mts., de ancho en el sitio de emplazamiento del vertedero del aliviadero de servicio.

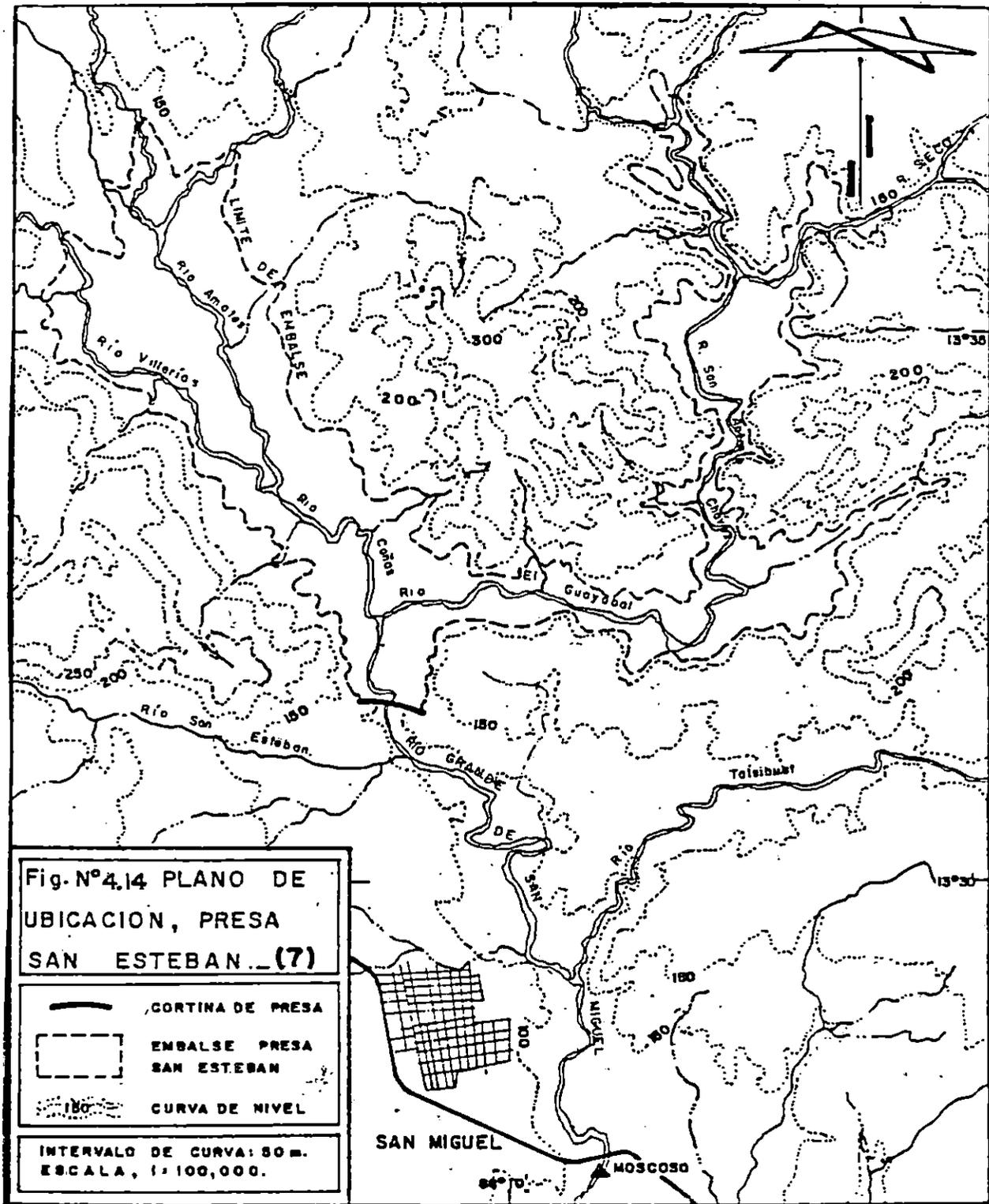
El nivel de embalse lleno es a la cota 123.3 mts., y el nivel máximo del embalse a la cota 127.0 mts., a partir de esta cota funcionaría el canal aliviadero de emergencia y el caudal transportado por el embalse rompería el dique fusible hasta llegar al río Grande de San Miguel a través de una quebrada.

El volumen almacenado por esta presa sería de  $228 \times 10^6 \text{ M}^3$  (7).

#### 4.4.1.4 Estrategia IV (E-IV)

##### *Rectificación y Dragado de Cauce y Represamiento El Delirio.*

Como una alternativa para el control de crecientes y el control de inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel se ha propuesto la rectificación y dragado del cauce principal en el tramo Laguna de Aramuaca-Laguna de Olomega. Aumentando la capacidad de la sección hidráulica en este



tramo es posible evitar el desbordamiento del río hacia la planicie.

La rectificación del cauce comprende principalmente conducir la avenida por el río La Pelota hacia la Laguna de Olomega, almacenando de esta manera el volumen transportado directamente hacia La Laguna. La profundización del cauce implicaría una onda de crecida con mayor capacidad de arrastre de sedimentos, por lo que este tipo de obra se recomienda sea acompañada por gaviones u otro tipo de obra en sitios estratégicos del curso del río.

Con esta medida sería resuelta una gran parte del problema de las inundaciones en la cuenca media.

La figura No. 4.13 muestra la localización aproximada de las estructuras para el control de sedimentos y la rectificación del cauce propuesta.

El problema de las inundaciones en el tramo El Delirio, Vado Marín, Las Conchas sería tratado mediante un represamiento del río a la altura de El Delirio, (1300 mts., aguas abajo del puente El Delirio).

La altura de presa que se propone como necesaria para el control de crecientes en 5 años como período de retorno es de 9.3 mts.

Para la crecida de 25 años, se propone una altura de presa de 10.7 mts., y para la crecida de 50 años se propone una altura de 11.0 mts.

Las características geométricas del sitio de cierre óptimo se muestran en la Figura No. 4.15.

El coeficiente de rugosidad es igual a 0.189 y la pendiente hidráulica es de 0.0132 (7).

La ubicación del sitio de cierre y el área embalsada por la presa se muestran en la Figura No. 4.13.

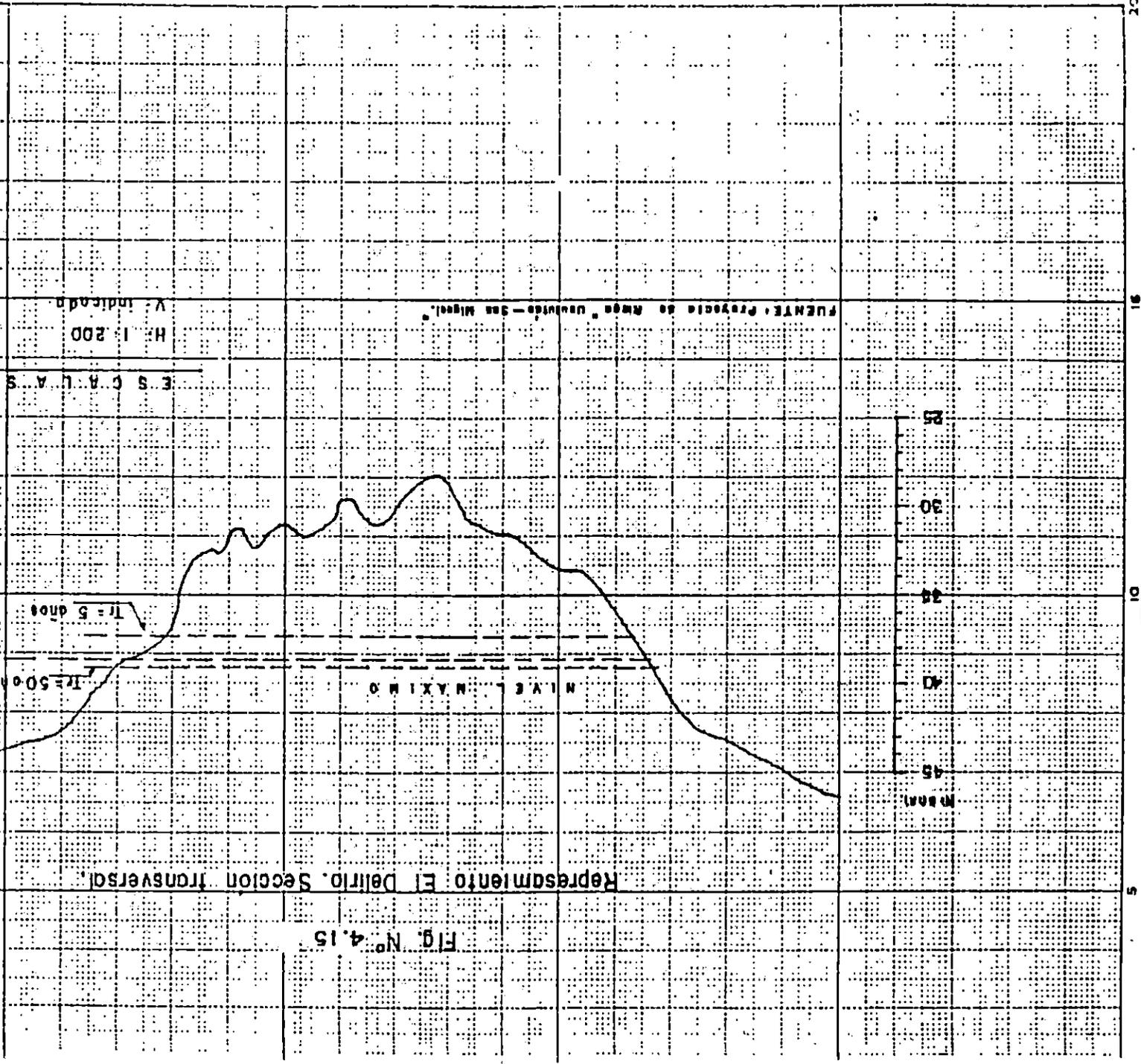


Fig. No. 4.15

Reposamiento El Deltio. Seccion Transversal.

Nivel

NIVEL MAXIMO

Tr = 50 años

Tr = 25 años

Tr = 5 años

E S C A L A S

H: 1.200

V: indicado

FUENTE, Proyecto de Riego Unidos - San Miguel.

*4.4.2 Objetivos de la Aplicación de la Teoría de Decisiones al Problema de la Inundación de la Cuenca del río Grande de San Miguel.*

- 1. Obtener una estrategia que minimice el riesgo de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.*
- 2. Evitar pérdidas de vidas humanas, destrucción de cultivos y destrucción de infraestructura, en la cuenca del río Grande de San Miguel.*

*4.4.3 Criterios de Evaluación*

- . Criterios técnicos que permitan seleccionar una estrategia que minimice el riesgo de nuevas inundaciones, considerando las probabilidades del caso.*
- . Criterios económicos que permitan seleccionar una estrategia, a un costo razonable.*

*4.4.4 Elaboración del Arbol de Decisiones sobre el Problema de Nuevas Inundaciones en la Cuenca del río Grande de San Miguel.*

*El árbol de decisiones para este caso se construirá de forma similar al construido sobre el problema de un nuevo deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, es decir, se tomará como base los antecedentes del caso y la descripción del problema.*

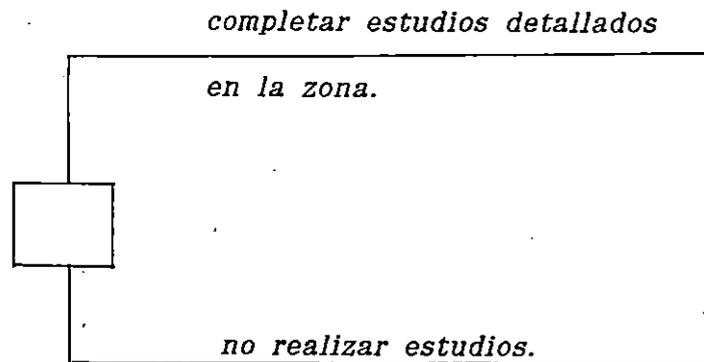
*En los antecedentes del caso se describen las causas principales que originan las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, las que influirán en la primera decisión a tomar en la construcción del árbol de decisiones.*

*Es decir, si se conocen las causas hidrológicas, morfológicas, geológicas, etc, que han originado en el pasado las inundaciones en la cuenca, surge la*

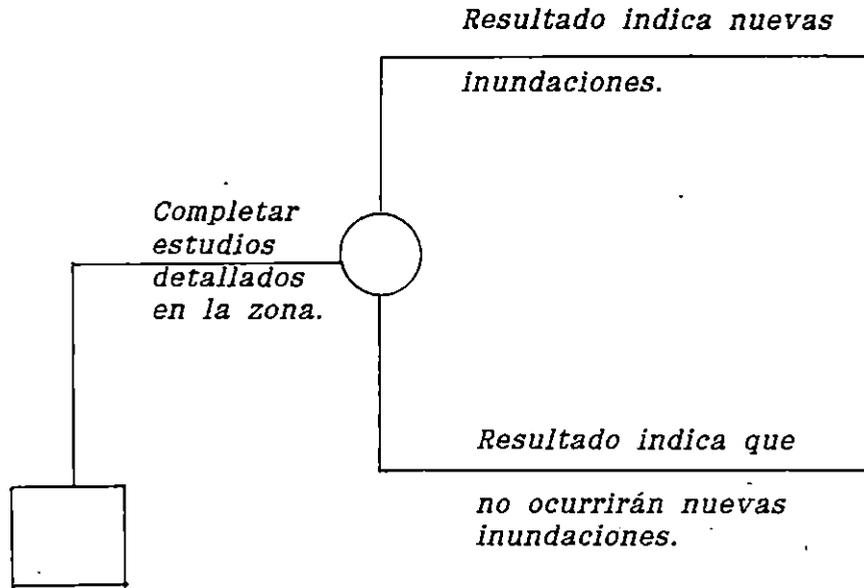
*interrogante si completar los estudios en forma más detallada o no realizarlos para conocer el riesgo de nuevas inundaciones.*

*En este sentido, la primera decisión a tomar es la de completár los estudios detallados en la zona o la de no realizarlos.*

*Así, se obtienen las primeras dos ramas del árbol de decisiones:*

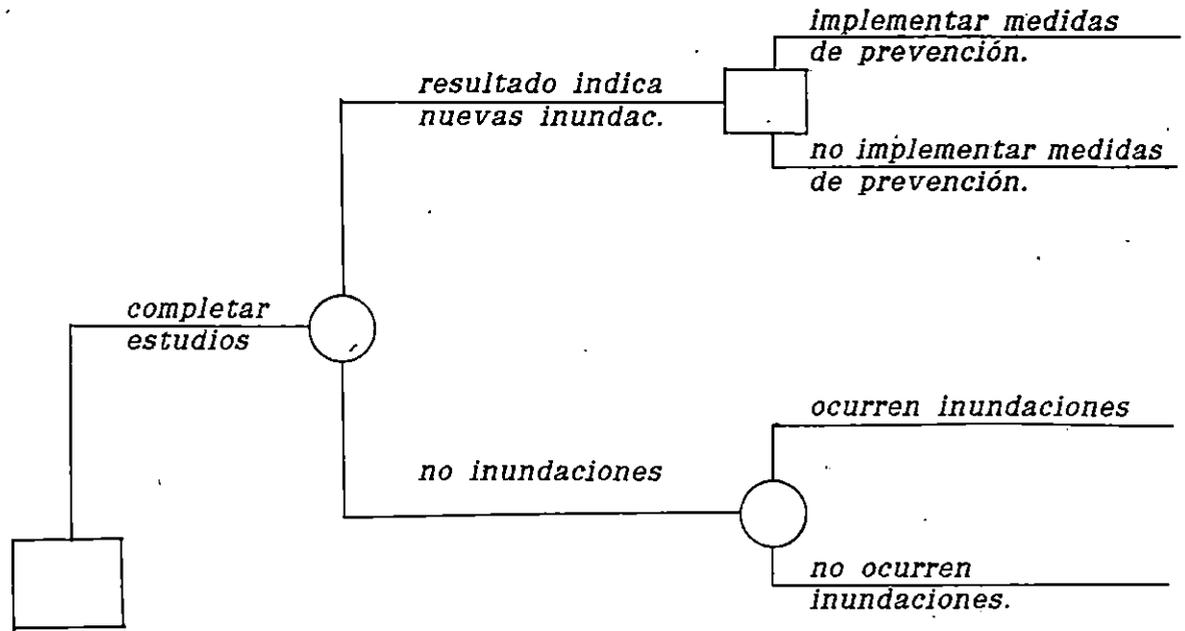


*En la parte terminal de la rama, de completar los estudios detallados en la zona, necesariamente se llega a un nudo de evento, pues el resultado de éstos aún es cierto, razón por la cual se deben considerar todos los resultados posibles que éstos podrían indicar. Por lo que, el árbol de decisiones en esta rama crece de la siguiente manera:*

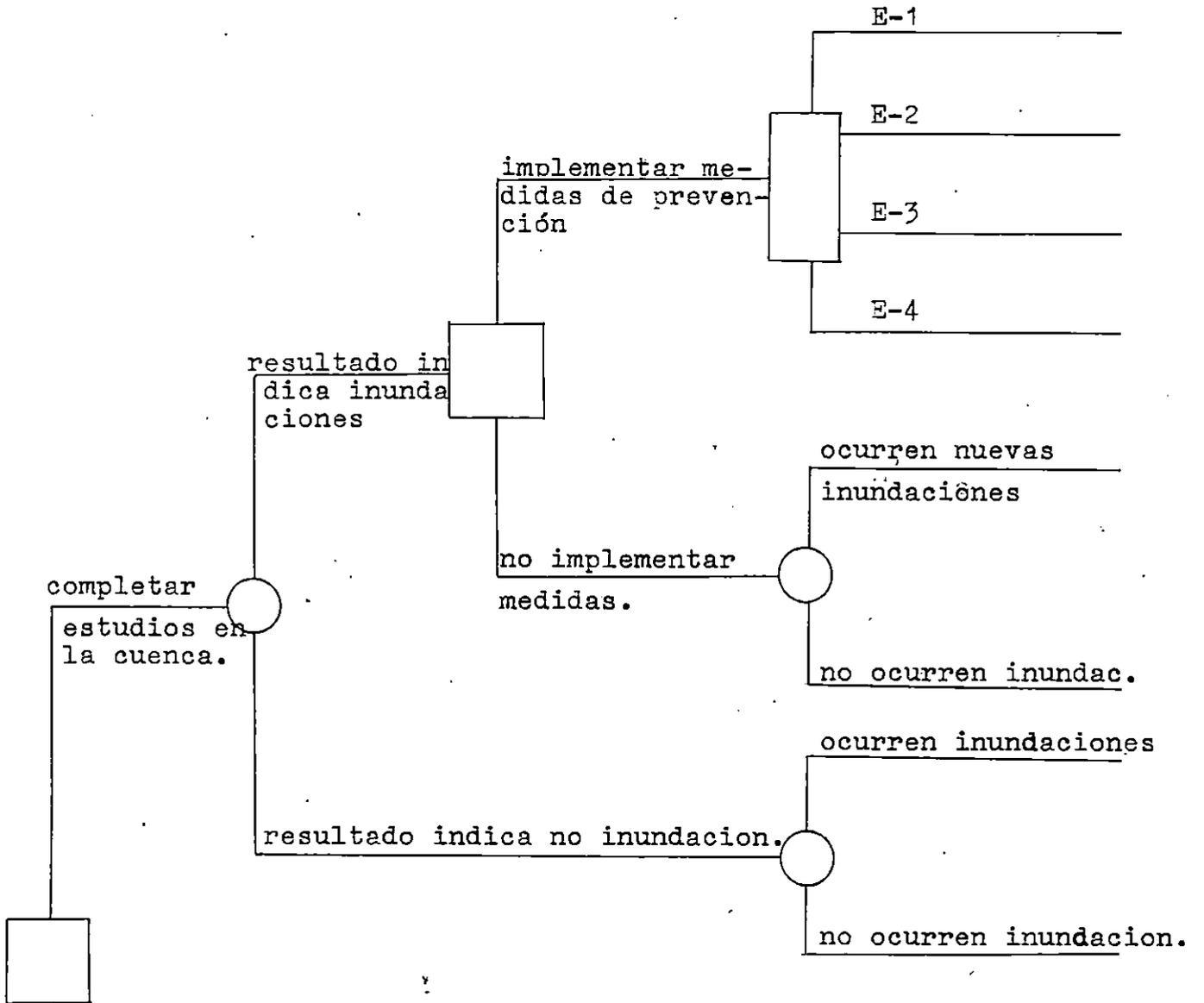


*Siguiendo la rama que indica nuevas inundaciones, en la parte terminal de esta, se hace necesario tomar una decisión sobre qué hacer para evitarlo; si implementar medidas de prevención o no perturbar el estado actual de cosas en la cuenca del río Grande de San Miguel.*

*En la rama donde los estudios indican que no ocurren nuevas inundaciones, se debe considerar un nudo de evento, porque el resultado de estos no garantiza que no ocurran nuevas inundaciones. Entonces el árbol de decisiones crece así:*

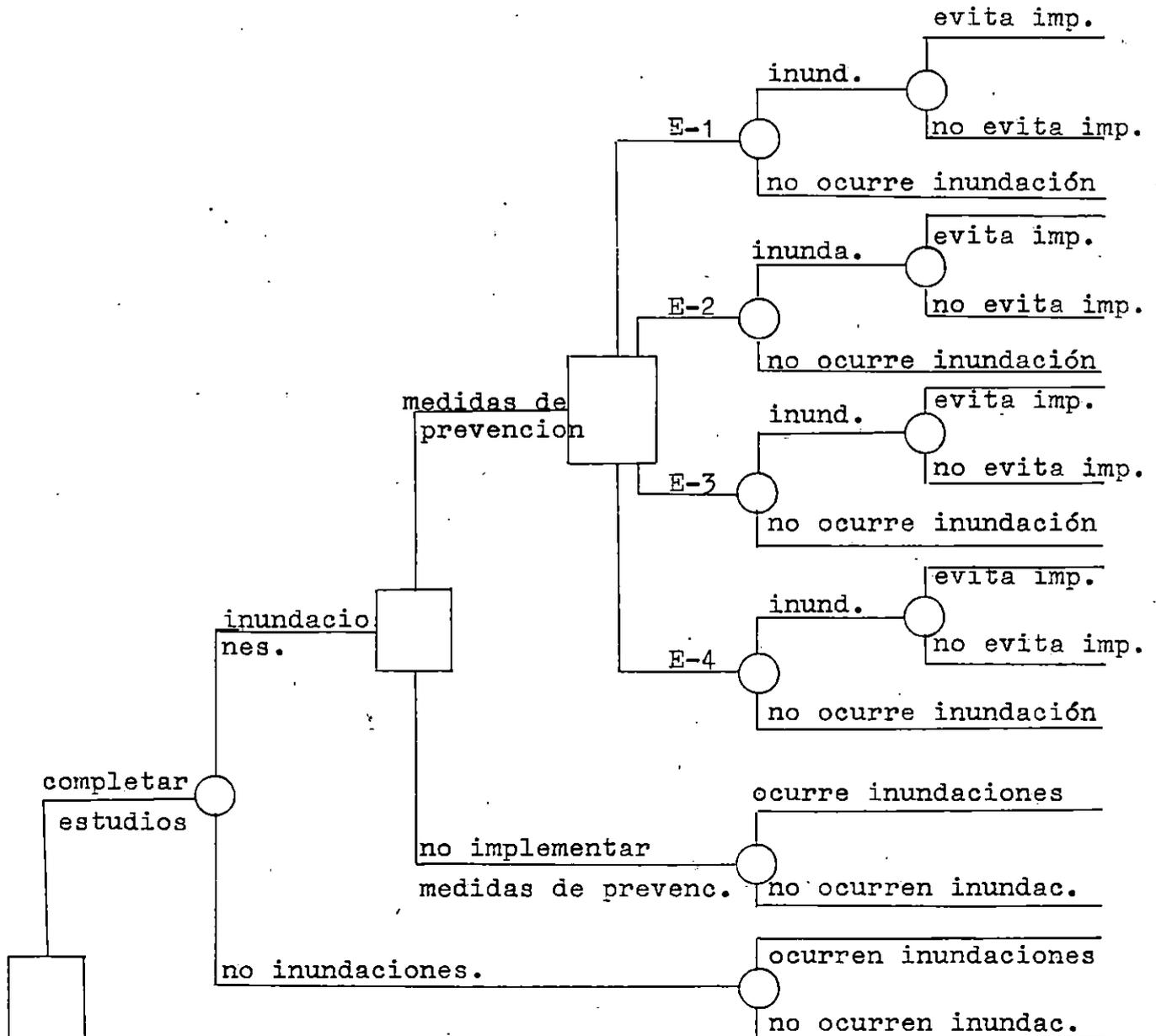


Al tomar la decisión de implementar medidas de prevención, se debe decidir después qué tipo de estrategia implementar, dentro de las cuatro detalladas en la descripción del problema. Al final de la rama de no implementar medidas de prevención, se debe considerar un nudo de evento, que contenga las probabilidades de la nueva ocurrencia de inundaciones, manteniendo inalterable el estado de cosas en la cuenca del río Grande de San Miguel. En tal sentido, el árbol de decisiones crece así:



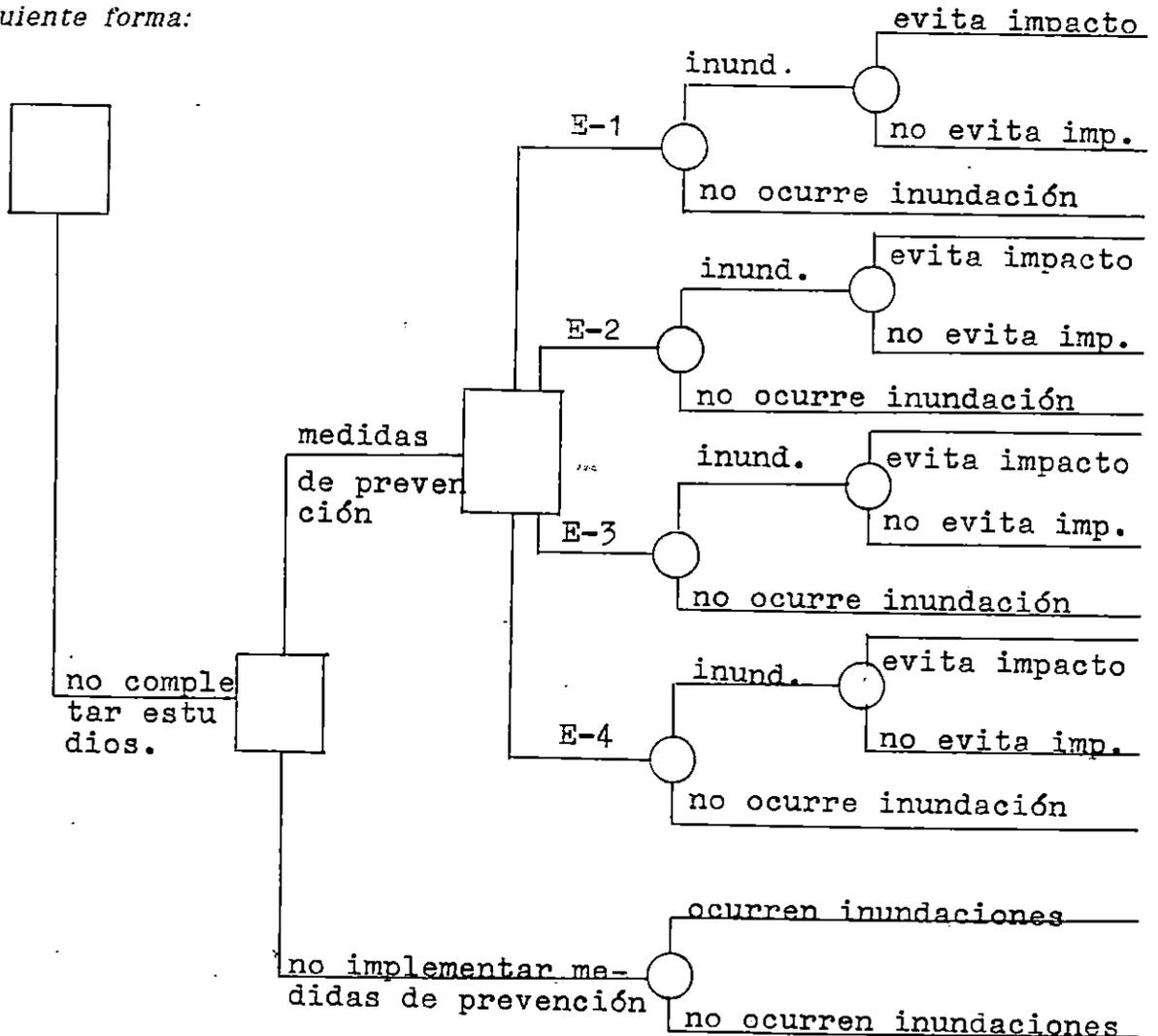
Después de la decisión tomada sobre qué estrategia seguir dentro de las cuatro posibles para evitar nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande, el diagrama de decisiones termina necesariamente en nudos de eventos, donde se consideran las probabilidades de nuevas inundaciones, con cada estrategia ejecutada y, si ocurre la inundación se deben considerar las probabilidades que las estrategias tienen para evitar el impacto en la cuenca del río.

Así el árbol crece de la siguiente manera:



Al final de la rama de no realizar estudios, el primer nudo que se considera es un nudo de decisión, sobre qué hacer para evitar nuevas inundaciones, igual al nudo de decisión considerado en la rama donde los estudios indican que ocurren nuevas inundaciones.

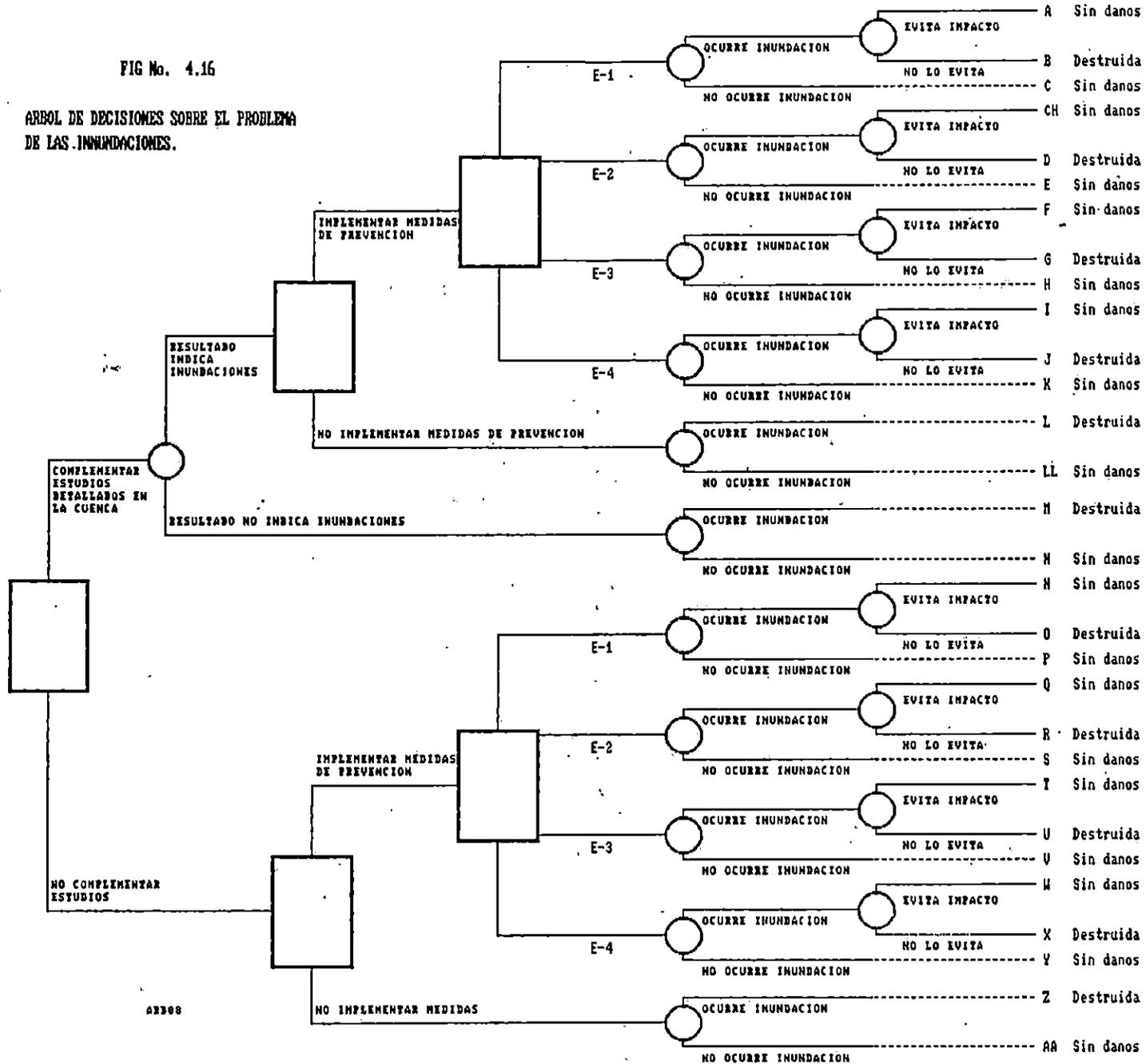
Los siguientes nudos son iguales a los de la rama de completar estudios detallados en la zona, por lo que el diagrama en esta parte queda de la siguiente forma:



Finalmente se obtiene el árbol de decisiones sobre el problema de nuevas inundaciones en la cuenca del río de San Miguel, mostrado en la Figura No. 4.16.

FIG No. 4.16

ARBOL DE DECISIONES SOBRE EL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES.



43308

#### 4.4.5 Evaluación de Costos para la Asignación de Flujos Parciales de Dinero al Arbol de Decisiones.

Para el caso del árbol de decisiones sobre el problema de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, los flujos parciales de dinero de las diferentes ramas que componen el diagrama, representan costos para el decisor, pero; a diferencia del problema sobre el deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, en este caso, se obtienen, después de hacer la inversión en cualquier medida preventiva, beneficios sociales y económicos. Entre los beneficios sociales se pueden mencionar los relativos a la vida humana, la salud, la seguridad de las comunidades, la preservación de la naturaleza y la vida silvestre. Entre los económicos se tienen los relacionados con los beneficios que se obtienen al evitar daños a propiedades y los asociados a los daños en la tierra, las cosechas, servicios públicos, viviendas, industrias, etc.

Los costos para este árbol están representados en la decisión de completar los estudios detallados en la zona, y en la decisión de implementar estrategias de prevención como alternativas para evitar o disminuir el impacto de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.

Los costos de las diferentes estrategias de prevención son calculados para tres períodos de vida útil de las obras que contienen dichas estrategias, es decir, para 5, 25 y 50 años, tomándose en cuenta la ejecución, operación y mantenimiento de las mismas.

##### 4.4.5.1 Evaluación de Costos

- Costo de completar estudios hidrológicos, geológicos, morfológicos, etc., detallados; en la cuenca del río Grande de San Miguel.
- De investigaciones efectuadas en organismos, con experiencia en este

tipo de estudios, se estima un costo promedio alrededor de  
c 1,000,000.00

Los costos estimados para cada una de las estrategias se indican en los cuadros siguientes.

Costos de Estrategia No. 1. Cuadros 4.4 y 4.5

Costos de Estrategia No. 2. Cuadros 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9

Costos de Estrategia No. 3. Cuadros 4.10 y 4.11

Costos de Estrategia No. 4. Cuadros 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15

## CUADRO No. 4.4

**COSTO DE ESTRATEGIA 1. REQUERIMIENTO DE EQUIPO PARA EL SISTEMA DE  
PREDICCIÓN PROPUESTO Y COSTOS UNITARIOS**

No.	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (COLONES)	SUBTOTAL
1	Plataforma colectora de datos.	1	60,000	60,000
2	Censor de nivel de agua.	2	25,000	50,000
3	Sensor de precipitación	1	25,000	25,000
4	Interfase radio micro-onda.	1	125,000	125,000
5	Interfase computador microonda.	1	125,000	125,000
6	Transmisor de microonda.	1	125,000	125,000
7	Sistema micro computador (impresor, discos, cassette).	1	900,000	900,000
8	Sistema micro computador de emergencia.	1	525,000	625,000
9	Estación receptora.	1	750,000	750,000

Total : ¢ 2,785,000

## CUADRO 4.5

*COSTO DE ESTRATEGIA No. 1. COSTOS ANUALES DE OPERACION Y  
MANTENIMIENTO, COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA No. 1*

<i>COSTOS ANUALES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO</i>	<i>COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA No.1</i>			
	<i>Período en años</i>	<i>Costo de ejecución (colones)</i>	<i>Costo de operación y mantto.</i>	<i>Total</i>
<i>Sueldos y salarios                   ¢ 320,000</i>				
<i>Prestaciones sociales                   ¢ 56,000</i>	<i>5</i>	<i>2,785,000</i>	<i>2,330,000</i>	<i>5,115,000</i>
<i>Materiales y suministros           ¢ 90,000</i>	<i>25</i>	<i>2,785,000</i>	<i>11,650,000</i>	<i>14,435,000</i>
<i>Total                       ¢ 466,000</i>	<i>50</i>	<i>2,785,000</i>	<i>23,300,000</i>	<i>26,085,000</i>

## CUADRO No. 4.6

## COSTOS DE ESTRATEGIA No. 2. COSTO UNITARIO DE BORDA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (COLONES)
- DESCAPOTE (50 cms)	m <sup>3</sup>	10.00
- EXCAVACION (1 mt)	m <sup>3</sup>	37.50
- PRESTAMO DE MATERIA LES . Cuerpo de terraplen . Filtros	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	15.00 73.00
- SOBRE ACARREO (30 Km)	Km	1.00
- RELLENO	m <sup>3</sup>	60.00
- COMPACTACION	m <sup>3</sup>	38.00
- DRENES (3 de 8" c/2.50 m)	c/u	63.00
- CUNETAS	m <sup>3</sup>	35.00

CUADRO No. 4.7

COSTO DE ESTRATEGIA No. 2. COSTO DE CONSTRUCCION DE BORDA POR  
PLANICIE DE INUNDACION

PLANICIE INUNDABLE	ALTURA DE BORDA (MTS)	COSTO UNITARIO (¢/mt)	LONGITUD DE BORDA (kms)	COSTO DE CONSTRUCCION (Colones)
OLOMEGA	1.5	1980	18.5	36,000,000
EL JOCOTAL	1.5	1605	9.5	15,000,000
MOROPALA	1.0	1605	7.5	12,000,000

CUADRO No. 4.8

COSTO DE ESTRATEGIA No. 2. COSTO DE BORDAS DE PROTECCION  
POR PLANICIE DE INUNDACION

ELEMENTO	PLANICIE INUNDABLE		
	OLOMEGA	EL JOCOTAL	MOROPALA
Costo de construcción	¢ 36,000,000	15,000,000	12,000,000
Imprevistos	2,400,000	1,500,000	1,200,000
Ingeniería y admón.	1,680,000	1,000,000	840,000
Total inversión	40,000,000	17,500,000	14,000,000
Interés durante const.	4,000,000	1,800,000	1,440,000
Gran total inversión	44,000,000	19,000,000	16,000,000
Costo de operación y mantenimiento por año.	48,000,000	30,000,000	24,000,000

## CUADRO No. 4.9

## COSTO TOTAL DE ESTRATEGIA No. 2

## ASOCIADO A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

PERIODOS EN AÑOS	PLANTAS	COSTO DE EJECUCION (COLONES)	COSTO DE OPERACION Y MANTTO. (COLONES)	COSTO PARCIAL (COLONES)	COSTO TOTAL
5	Olomega El Jocotal Morolapa	44.000.000 19.000.000 16.000.000	240.000 150.000 120.000	44.240.000 19.150.000 16.120.000	79.510.000
25	Olomega El Jocotal Morolapa	44.000.000 19.000.000 16.000.000	1.200.000 750.000 600.000	45.200.000 19.750.000 16.600.000	81.550.000
50	Olomega El Jocotal Morolapa	44.000.000 19.000.000 16.000.000	2.400.000 1.500.000 1.200.000	46.400.000 20.500.000 17.200.000	84.100.000

CUADRO No. 4.10

## COSTO DE ESTRATEGIA No. 3. COSTO DE CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE PRESA SAN ESTEBAN.

## ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

DESCRIPCION	SUBTOTAL (COLONES)		
	5 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS
Costo de construcción	80.000.000	95.900.000	100.000.000
Imprevistos	8.000.000	9.500.000	10.000.000
Ingeniería y Admón.	5.000.000	6.650.000	7.000.000
Total inversión	93.000.000	111.150.000	117.000.000
Interés durante const.	9.600.000	11.400.000	12.000.000
Gran total de inversión	102.600.000	122.550.000	129.000.000
Costo de operación y mantenimiento por año.	300.000	350.000	400.000

CUADRO No. 4.11

## COSTOS DE ESTRATEGIA No. 3

## COSTOS TOTALES DE ESTRATEGIA No. 3

## ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

PERIODOS EN AÑOS	COSTO DE EJECUCION	COSTO DE OPERACION Y MANTTO.	TOTAL
5	103,200,000	1,500,000	104,700,000
25	122,550,000	8,750,000	131,300,000
50	129,000,000	20,000,000	149,000,000

CUADRO No. 4.12

COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO DE RECTIFICACION Y DRAGADO DE CAUCE EN EL TRAMO ARAMUACA-OLÓMEGA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

ELEMENTO	5 años	25 años	50 años
Costo de construcción	33,000,000	36,000,000	42,000,000
Costo de operación y mantenimiento.	33,000	36,000	42,000
Imprevistos	3,000,000	3,000,000	4,000,000
Ingeniería y admón.	2,000,000	2,000,000	3,000,000
Total inversión	38,000,000	42,000,000	50,000,000
Interés durante construcción.	4,000,000	4,000,000	5,000,000
GRAN TOTAL DE INVERSION	42,000,000	46,000,000	55,000,000

CUADRO No. 4.13

COSTO DE ESTRATEGIA No.4. COSTO DE PRESA EL DELIRIO

DESCRIPCION	SUBTOTAL (COLONES)
Costo de construcción	1,500,000
Imprevistos	150,000
Ingeniería y administración	105,000
Total inversión	1,755,000
Interés durante construcción	180,000
Gran total inversión	2,000,000
Costo de operación y mantto. por año.	7,500

CUADRO No. 4.14

COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO TOTAL DE REPRESAMIENTO EL DELIRIO

PERIODO EN AÑOS	COSTO DE EJECUCION	COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO	TOTAL
5	2,000,000	37,500	2,037,500
25	2,000,000	187,500	2,187,500
50	2,000,000	375,000	2,375,000

CUADRO No. 4.15

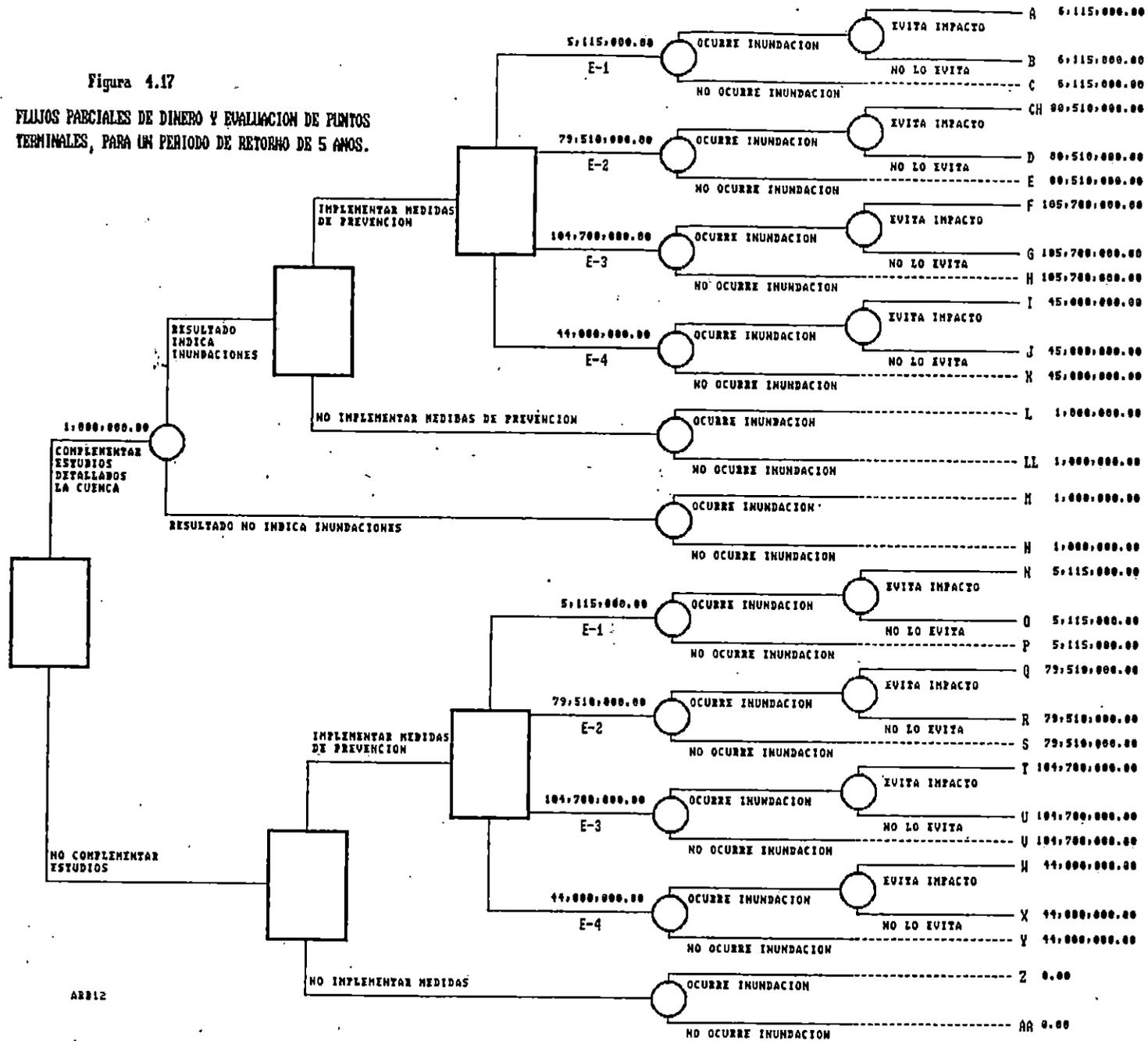
COSTO DE ESTRATEGIA No. 4. COSTO TOTAL DE ESTRATEGIA No. 4

PERIODO EN AÑOS	RECTIFICADO Y DRAGADO	REPRESAMIENTO EL DELIRIO	TOTAL
5	42,000,000	2,037,500	44,037,500
25	46,000,000	2,187,500	48,187,500
50	55,000,000	2,375,000	57,375,000

#### Asignación de Costos en los Puntos Terminales

Estos se obtienen de la suma algebraica de los costos de todas las ramas, que representan estrategias de solución en el diagrama o árbol de decisiones; éstos costos en los puntos terminales se determinan para los tres períodos de análisis en los cuales se evaluará el árbol de decisiones y los valores obtenidos se muestran en las Figuras Nos. 4.17, 4.18 y 4.19 siguientes.

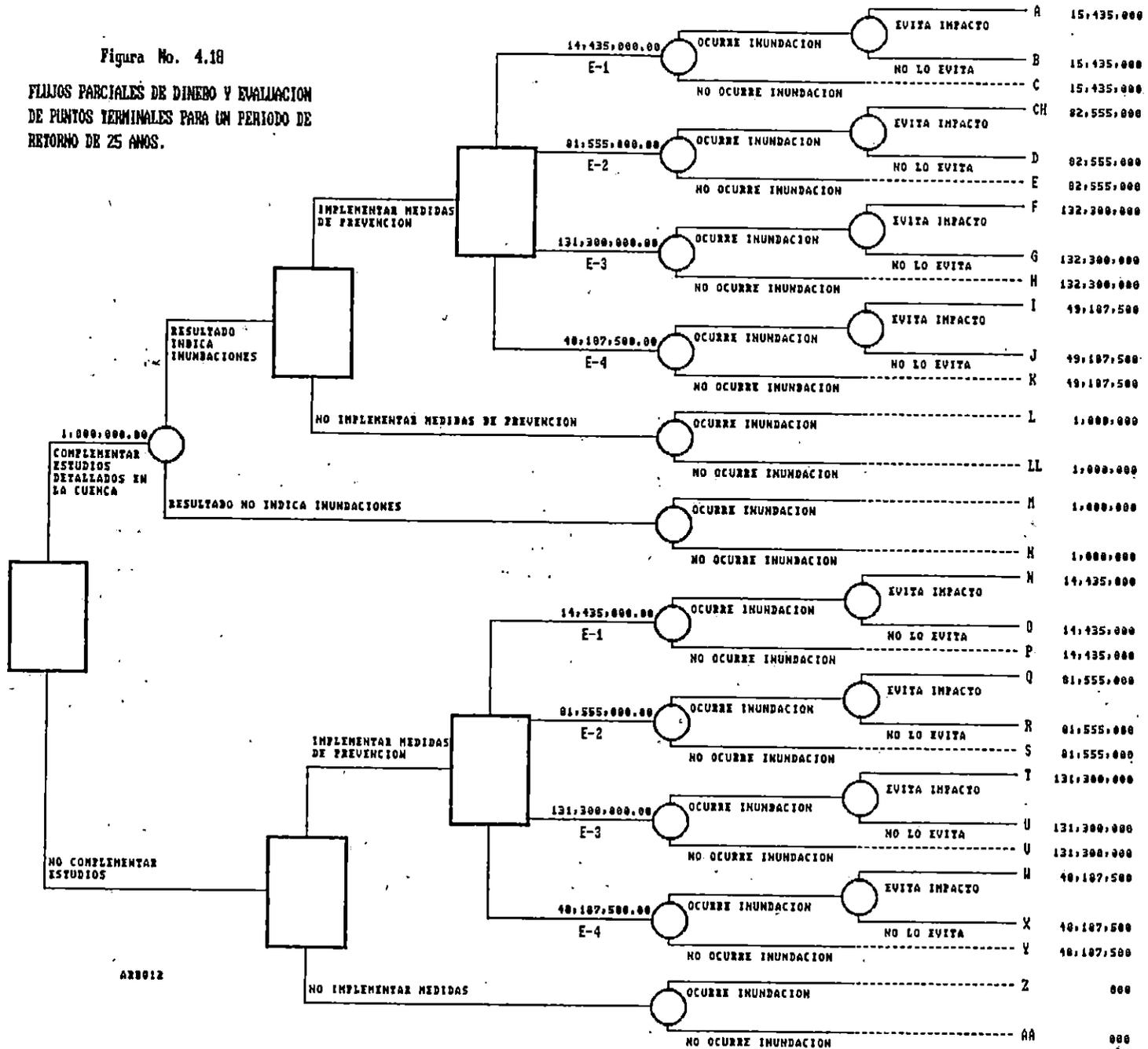
Figura 4.17  
 FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS  
 TERMINALES, PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 ANOS.



ARB12

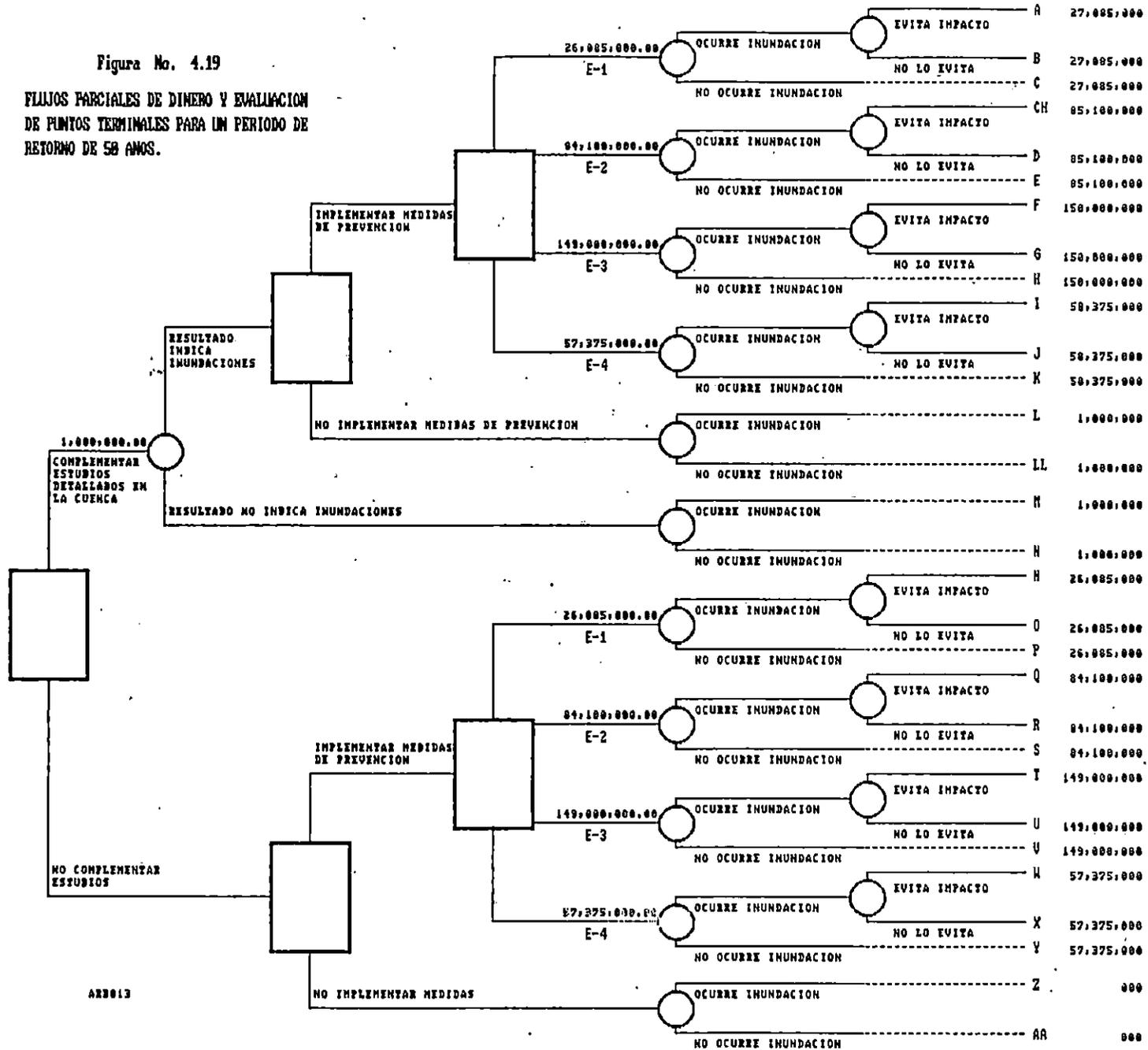
Figura No. 4.18

FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION DE PUNTOS TERMINALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 ANOS.



ARB012

Figura No. 4.19  
 FLUJOS PARCIALES DE DINERO Y EVALUACION  
 DE PUNTOS TERMINALES PARA UN PERIODO DE  
 RETORNO DE 50 ANOS.



ARB013

#### 4.4.6 Obtención de Probabilidades

Para obtener probabilidades y asignarlas a los nudos de eventos en el árbol de decisiones, sobre el problema de la nueva ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, se ha tomado como base la información disponible y estudios realizados en la cuenca, así como también de información proporcionada por expertos, conocedores del caso:

En la primera etapa las probabilidades se obtendrán por medio de los registros históricos disponibles de la cuenca donde se muestra la frecuencia de inundaciones y de otros datos hidrometeorológicos relacionados con estas, así como del estudio "consideraciones para la evaluación y predicción de inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel" elaborado por José Guillermo Castillo Guillén; los que permitirán obtener los períodos de análisis para los cuales se puede evaluar el árbol de decisiones y las probabilidades objetivas sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones. Para estos períodos, si las condiciones actuales en la que se encuentra la cuenca del río Grande de San Miguel se conservan similares.

En la segunda etapa se ha tomado como base la información proporcionada por expertos relacionados con el caso lo que permitirá obtener probabilidades subjetivas sobre la confiabilidad de completar los estudios en la zona y que estos indiquen nuevas inundaciones, y sobre todo la efectividad de implementar ciertas estrategias de prevención, las cuales se detallaron en la descripción del problema.

*4.4.6.1 Determinación del Período de Análisis del Arbol de Decisiones y Probabilidad Objetiva de la Ocurrencia de Nuevas Inundaciones, Provocadas por el río Grande de San Miguel, para dicho Período.*

*La finalidad de determinar el período de análisis es para limitar el tiempo fuera del cual no se debe considerar ningún acto o evento en la evaluación del árbol de decisiones.*

*A este período se le asignará una probabilidad de ocurrencia de nuevas inundaciones.*

*La probabilidad obtenida se utilizará en el árbol de decisiones asignándola a los nudos de eventos, que representa la ocurrencia de nuevas inundaciones, si se mantienen las condiciones actuales bajo las que se encuentra la cuenca del río Grande de San Miguel.*

*Para la determinación del período de análisis y la probabilidad de ocurrencia dentro de este período, se hará uso de registros históricos sobre inundaciones ocurridas en el pasado, recopilados por el Centro de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería y del estudio "Consideraciones para la Evaluación y Predicción de Inundaciones en la Cuenca del Río Grande de San Miguel", elaborado por José Guillermo Castillo Guillén.*

*4.4.6.1.1 Período de Análisis*

*Registros históricos sobre la ocurrencia de inundaciones provocadas por el río Grande de San Miguel, señalan que éstas se han presentado con mucha frecuencia, en las estaciones lluviosas, especialmente durante los meses de junio, septiembre y octubre.*

*De esta información consultada se puede considerar que las inundaciones en*

la cuenca del río Grande de San Miguel, pueden ocurrir durante cualquier estación lluviosa, dependiendo principalmente del régimen de precipitaciones.

En este sentido, y debido a que para el caso en particular existe suficiente información para obtener probabilidades objetivas en diferentes períodos de análisis (períodos de retorno) y para conocer el comportamiento en la evaluación final del árbol de decisiones, ante diferentes períodos de retorno, se tomarán para su evaluación los siguientes: 5 años, 25 años y 50 años.

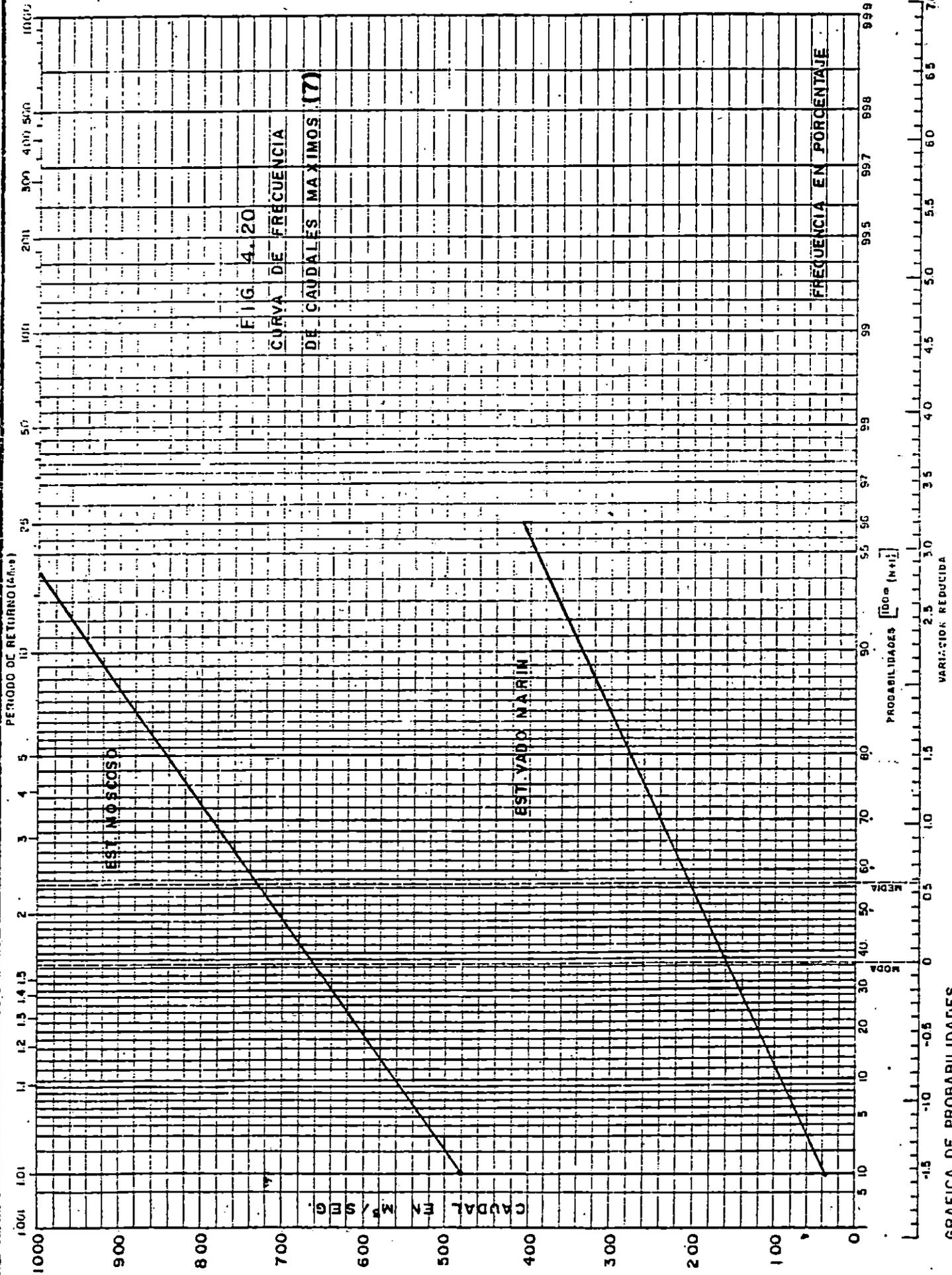
#### 4.4.6.1.2 Probabilidad de Ocurrencia de Nuevas Inundaciones para estos

##### Períodos de Retorno.

Del estudio presentado por José Castillo Guillén, se ha determinado un nivel crítico de rebosamiento para la estación hidrométrica de Moscoso de 3.0 mts., arriba del cual el cauce principal no tiene la capacidad de absorber el volumen de agua, transportado, produciéndose desbordamiento hacia las planicies de inundación de Olomega y la consecuente elevación del nivel en todo el cauce, estableciéndose un nivel crítico de rebosamiento en el sector de la estación hidrometereológica de Vado-Marín de 1.5 mts., arriba del cual el agua se desborda hacia las planicies de inundación del Jocotal y Moropala.

Por otra parte, registros históricos recopilados por el Centro de Recursos Naturales y que han sido reportados como inundaciones señalan que éstas se han producido al sobrepasar estos niveles críticos, tanto en la estación de Moscoso como en la de Vado-Marín. Estos niveles se han sobrepasado al producirse caudales mayores que  $400 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , para la estación de Moscoso y de  $100 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , para la estación de Vado-Marín.

En este sentido, y haciendo uso de la curva de frecuencia de caudales máximos anuales, mostrada en la Figura No. 4.20, que para este caso representa



la curva de probabilidades objetivas sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones, y, tomando los períodos de retorno de 5, 25 y 50 años, se determinan las probabilidades de ocurrencia de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.

- Probabilidad de una nueva inundación para un período de 5 años; 0.80, esperándose un caudal de  $840 \text{ m}^3/\text{seg}$  para la estación de Moscoso y de  $280 \text{ m}^3/\text{seg}$  en la estación de Vado-Marín.

Probabilidad (p) : 0.80

- Probabilidad de una nueva inundación para un período de 25 años; 0.96, esperándose un caudal de  $1050 \text{ m}^3/\text{seg}$  para la estación de Moscoso y de  $410 \text{ m}^3/\text{seg}$  en la estación de Vado-Marín.

Probabilidad (p) : 0.96

- Probabilidad de una nueva inundación para un período de 50 años; 0.98, esperándose un caudal de  $1130 \text{ m}^3/\text{seg}$  para la estación de Moscoso y de  $470 \text{ m}^3/\text{seg}$  en la estación de Vado-Marín.

Probabilidad (p) : 0.98

#### 4.4.6.2 Probabilidades Subjetivas

En esta etapa se evalúa la confiabilidad de complementar los estudios en la zona, en el sentido que éstos produzcan resultados sobre el riesgo de nuevas inundaciones, así como también la efectividad de implementar las estrategias de prevención para evitar nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel. Esta evaluación se realiza por medio de la asignación de probabilidades.

Para esta etapa no se cuenta con datos históricos que permitan obtener probabilidades objetivas, razón por la cual se ha tomado como base la información

proporcionada por expertos conocedores del caso, para obtener a través de ellos, probabilidades subjetivas y asignarlas a los nudos de eventos para la evaluación final del árbol de decisiones.

Los expertos entrevistados son los siguientes:

- Ing. Rogelio E. Godínez (Ing. Civil)
- Ing. Hernán Romero Chavarría (Hidrólogo)
- Lic. Carlos Aguilar (Geólogo).

El proceso de obtención de probabilidades subjetivas para el árbol de decisiones se describen en los numerales: 4.4.6.2.1, 4.4.6.2.2 y 4.4.6.2.3.

#### 4.4.6.2.1 Confiabilidad de Complementar Estudios en la Cuenca del río Grande de San Miguel.

Una forma de evaluar probabilidades objetivas sobre el riesgo de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel es a través de la realización de estudios complementarios detallados en la cuenca (hidrológicas, morfológicas, uso actual del suelo, geológicos, etc).

Para este caso los estudios no se realizaron pues se aprovechó la información disponible sobre las causas que provocan las inundaciones y se recurrió a la opinión de expertos para obtener a través de ellos, probabilidades subjetivas de que al complementar los estudios, éstos señalen la ocurrencia de nuevas inundaciones.

Las probabilidades subjetivas se detallan en el Cuadro No. 4.16 y se utilizarán para la evaluación final del árbol de decisiones, colocándolas en el nudo de evento que contiene los resultados de complementar los estudios.

La pregunta formulada a los expertos se menciona a continuación:

Cuál es la probabilidad que al complementar los estudios en la cuenca, éstos

proporcionen buena información sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones ?

Los resultados obtenidos sobre dicha pregunta se presentan en el siguiente cuadro.

CUADRO No. 4.16

PROBABILIDAD DE QUE LOS ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS  
EN LA CUENCA SEÑALEN LA OCURRENCIA DE NUEVAS INUNDACIONES

EXPERTOS	PROBABILIDAD ASIGNADA
ING. ROGELIO GODINEZ	0.70
ING. HERNAN ROMERO CHAVARRIA	0.60
LIC. CARLOS AGUILAR	0.85

4.4.6.2.2 Probabilidad de que ocurran Nuevas Inundaciones Implementando  
Estrategias de Prevención.

Con el objeto de obtener probabilidades subjetivas sobre la efectividad de cada una de las estrategias detalladas en la descripción del problema, en el sentido de que éstas eviten nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para los tres períodos de análisis bajo los cuales se evaluará el árbol de decisiones ( $tr= 5a$  ños,  $tr= 25$  años,  $tr= 50$  años); se les formuló a los expertos la siguiente pregunta:

¿Cuál es la probabilidad de que ocurran nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel al implementar cada una de las diferentes estrategias de prevención ?

Los valores asignados se muestran en el Cuadro No. 4.17 y se utilizarán

para la evaluación final del árbol de decisiones, colocándolas en los nudos de eventos que contienen las dos ramas sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones, al ejecutar cada una de las estrategias de solución, siguiendo la rama de implementar medidas de prevención.

CUADRO No. 4.17  
 PROBABILIDAD DE QUE OCURRA NUEVAS INUNDACIONES,  
 IMPLEMENTANDO MEDIDAS DE PREVENCION  
 (PARA  $tr=5$  años,  $tr= 25$  años y  $tr= 50$  años)

PROBABILIDADES OBTENIDAS				
EXPERTO				
	ESTRATE- GIA 1.0	ESTRATE- GIA 2	ESTRATE- GIA 3	ESTRATE- GIA 4
ING. ROGELIO E. GODINEZ	1.0	0.35	0.15	0.10
ING. HERNAN R. CHAVARRIA	1.0	0.20	0.0	0.0
LIC. CARLOS AGUILAR	1.0	0.05	0.05	0.05

4.4.6.2.3 Probabilidad que al implementar las Diferentes Estrategias y Ocurren Nuevas Inundaciones, éstas eviten o no el impacto.

Si ocurrieran nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, luego de implementada cualquiera de las estrategias de prevención; se necesita conocer las probabilidades subjetivas sobre la efectividad de las diferentes estrategias, en el sentido de evitar el impacto en la cuenca, para los

tres períodos de retorno en los cuales se evaluará el árbol de decisiones ( $tr= 5$  años,  $tr= 25$  años,  $tr= 50$  años).

Para obtener dichas probabilidades se le formuló al experto la siguiente pregunta:

¿Cuál es la probabilidad que al implementar las diferentes estrategias, éstas eviten el impacto ante la ocurrencia de nuevas inundaciones ?

Los valores asignados se muestran en el Cuadro No. 4.18 y se utilizarán en la evaluación final del árbol de decisiones, asignándolas a los nudos de eventos que contienen las ramas de evitar o no el impacto ante la ocurrencia de nuevas inundaciones.

CUADRO No. 4.18  
PROBABILIDAD QUE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS  
EVITEN EL IMPACTO DE NUEVAS INUNDACIONES  
(PARA  $tr= 5$  años,  $tr= 25$  años y  $tr= 50$  años)

EXPERTOS	EVITA EL IMPACTO				NO EVITA EL IMPACTO			
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-1	E-2	E-3	E-4
ING. ROGELIO GODINEZ	0.45	0.80	0.65	0.9	0.55	0.20	0.35	0.1
ING. HERNAN. ROMERO CH.	0.60	0.75	0.90	0.9	0.4	0.25	0.10	0.10
LIC. CARLOS AGUILAR	0.65	0.70	0.80	0.85	0.35	0.30	0.20	0.15

Según la opinión de los expertos, las probabilidades asignadas que se detallaron en los Cuadros Nos. 4.16, 4.17 y 4.18 no cambian para los tres

períodos de retorno considerados ( $tr= 5$  años,  $tr= 25$  años,  $tr= 50$  años) ya que cada estrategia es diseñada para cada período en particular (vida útil de la estrategia); por lo que, las probabilidades que se obtienen en el numeral 4.4.6.3 serán asignadas a los tres períodos de análisis para los cuales se evaluará el árbol de decisiones.

#### 4.4.6.3 Asignación de Probabilidades a los Nudos de Eventos en el Arbol de Decisiones.

Las probabilidades asignadas por los expertos entrevistados que se muestran en los Cuadros Nos. 4.16, 4.17 y 4.18 representan la experiencia y conocimiento que cada uno de ellos tiene sobre el problema de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, y debido a que la especialidad de los entrevistados es en diferentes ramas, algunos datos coinciden gruesamente y otros varían.

En este sentido, la asignación de probabilidades a los nudos de eventos en el árbol de decisiones, se hará utilizando el valor obtenido bajo el concepto de la mediana de todos los valores asignados; por ser éste el más representativo del conjunto de opiniones y no es afectado por criterios extremos.

De la información detallada en el Cuadro No. 4.16 que se refiere a la probabilidad de que al complementar los estudios en la cuenca, el resultado de éstos proporcione información sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones, se obtiene utilizando la mediana, el siguiente valor de probabilidad indicado en el cuadro No. 4.19.

CUADRO No. 4.19  
 PROBABILIDAD QUE AL COMPLEMENTAR LOS ESTUDIOS,  
 ESTOS INDIQUEN NUEVAS INUNDACIONES

DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE	MEDIANA	PROBABILIDAD
0.6, 0.7, 0.85	0.7	0.7

De la información detallada en el Cuadro No. 4.17 que se refiere a la probabilidad de que al implementar las diferentes estrategias de prevención, ocurran nuevas inundaciones; se tiene, utilizando la mediana, los siguientes valores de probabilidad indicados en el Cuadro No. 4.20.

CUADRO No. 4.20  
 PROBABILIDAD DE QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS,  
 OCURRAN NUEVAS INUNDACIONES

ESTRATEGIAS	DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE	MEDIANA	PROBABILIDAD
ESTRATEGIA 1	1, 1, 1	1	1
ESTRATEGIA 2	0.05, 0.20, 0.35	0.20	0.20
ESTRATEGIA 3	0.0, 0.05, 0.15	0.05	0.05
ESTRATEGIA 4	0.0, 0.05, 0.10	0.05	0.05

De la información detallada en el Cuadro No. 4.18 que se refiere a la probabilidad de que al implementar las diferentes estrategias y ocurren nuevas

inundaciones, éstas eviten el impacto; se obtienen utilizando el concepto de la mediana, los siguientes valores de probabilidades, indicados en el Cuadro No. 4.21.

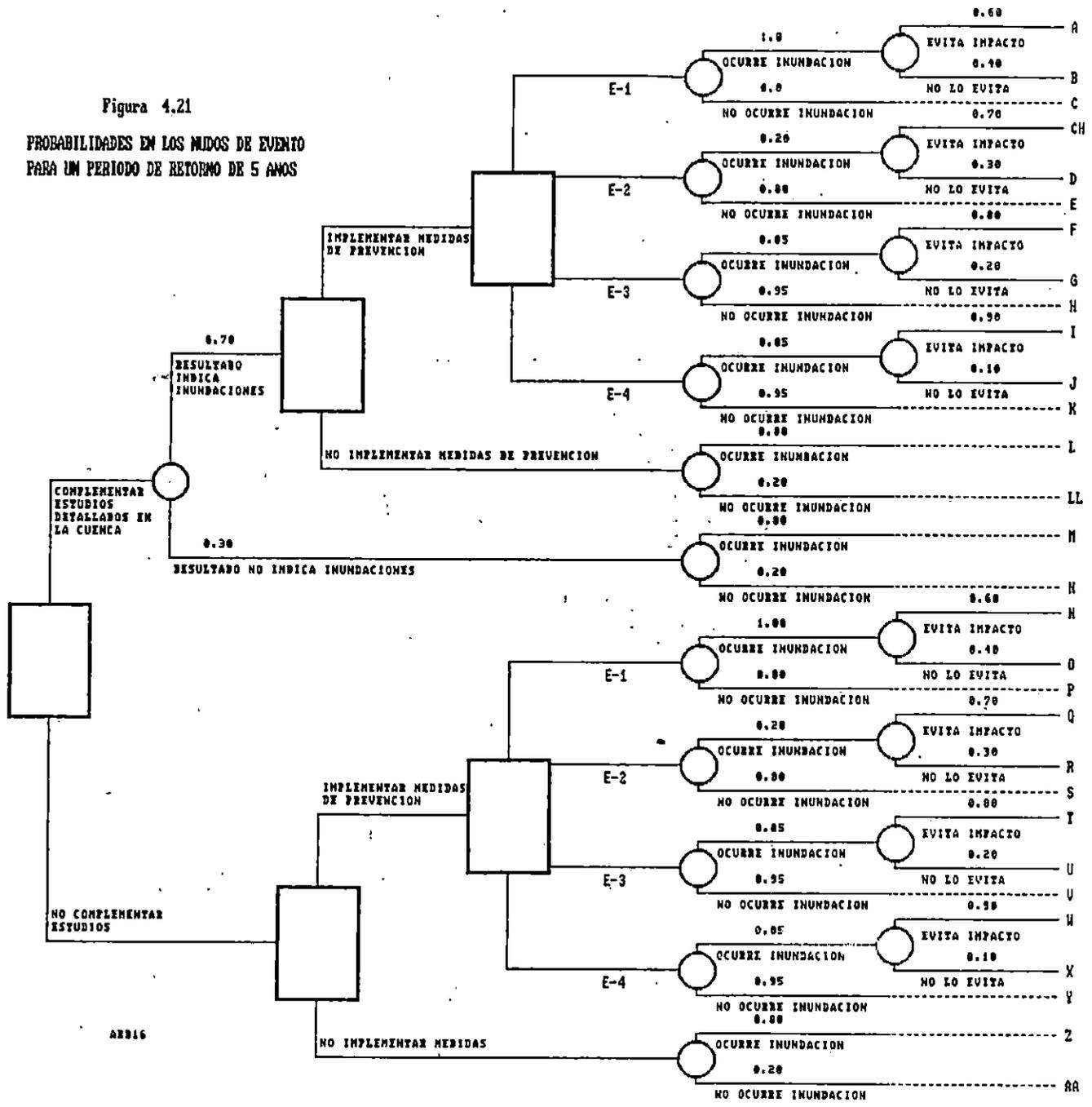
CUADRO No. 4.21

PROBABILIDADES DE QUE AL IMPLEMENTAR LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS  
Y OCURREN NUEVAS INUNDACIONES, ESTAS EVITEN EL IMPACTO

ESTRATEGIAS	DATOS ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE	MEDIANA	PROBABILIDAD
ESTRATEGIA 1	0.45, 0.6, 0.65	0.6	0.6
ESTRATEGIA 2	0.7, 0.75, 0.8	0.7	0.7
ESTRATEGIA 3	0.65, 0.8, 0.9	0.8	0.8
ESTRATEGIA 4	0.85, 0.9, 0.9	0.9	0.9

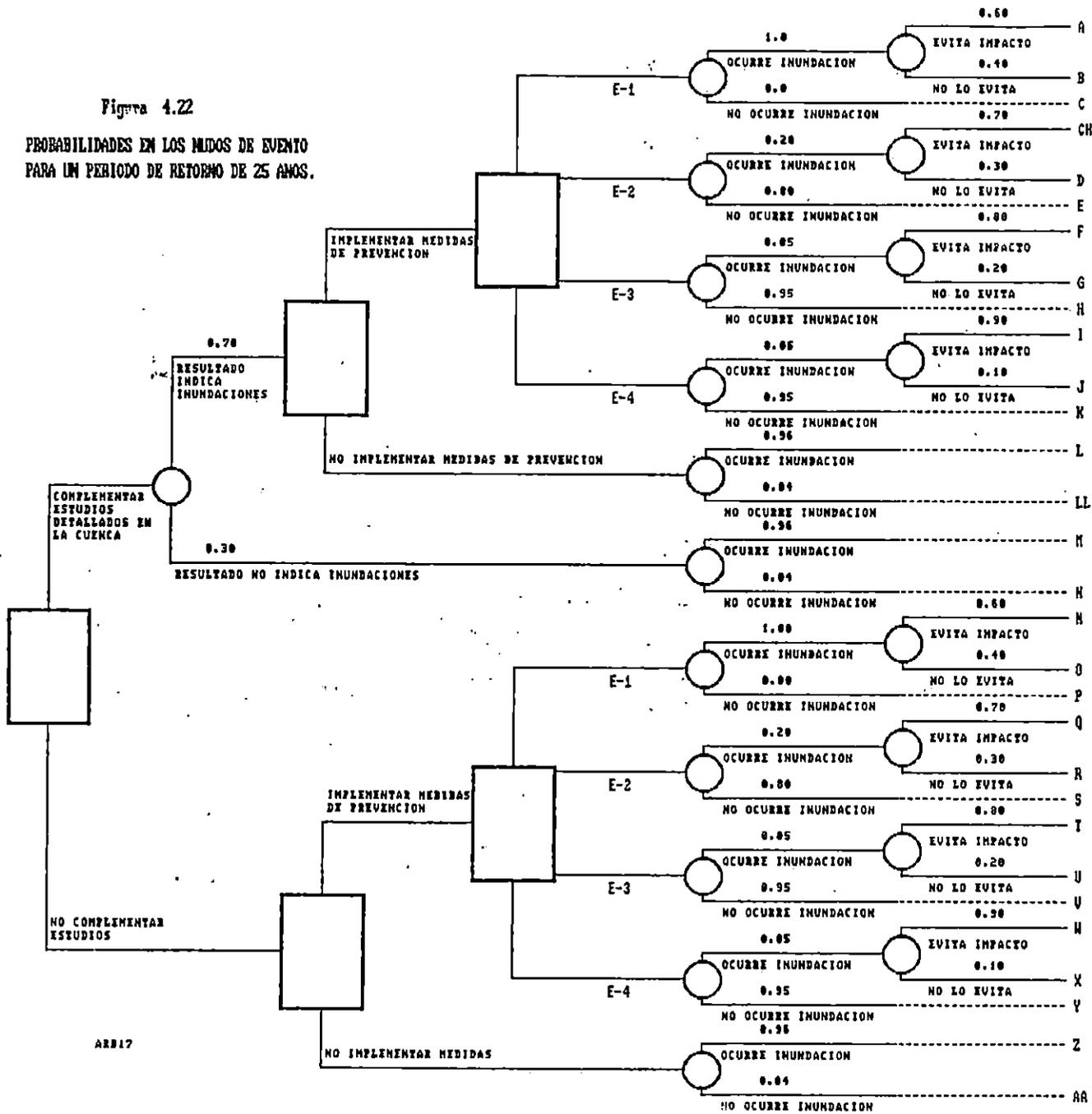
Las probabilidades obtenidas en los Cuadros Nos. 4.19, 4.20 y 4.21 así como también las probabilidades obtenidas de la Figura No. 4.20 sobre la ocurrencia de nuevas inundaciones para los períodos de retorno de 5, 25 y 50 años; se asignan a los nudos de eventos de los árboles de decisiones tal como se muestra en las Figuras Nos. 4.21, 4.22 y 4.23.

Figura 4.21  
 PROBABILIDADES EN LOS MUDOS DE EVENTO  
 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



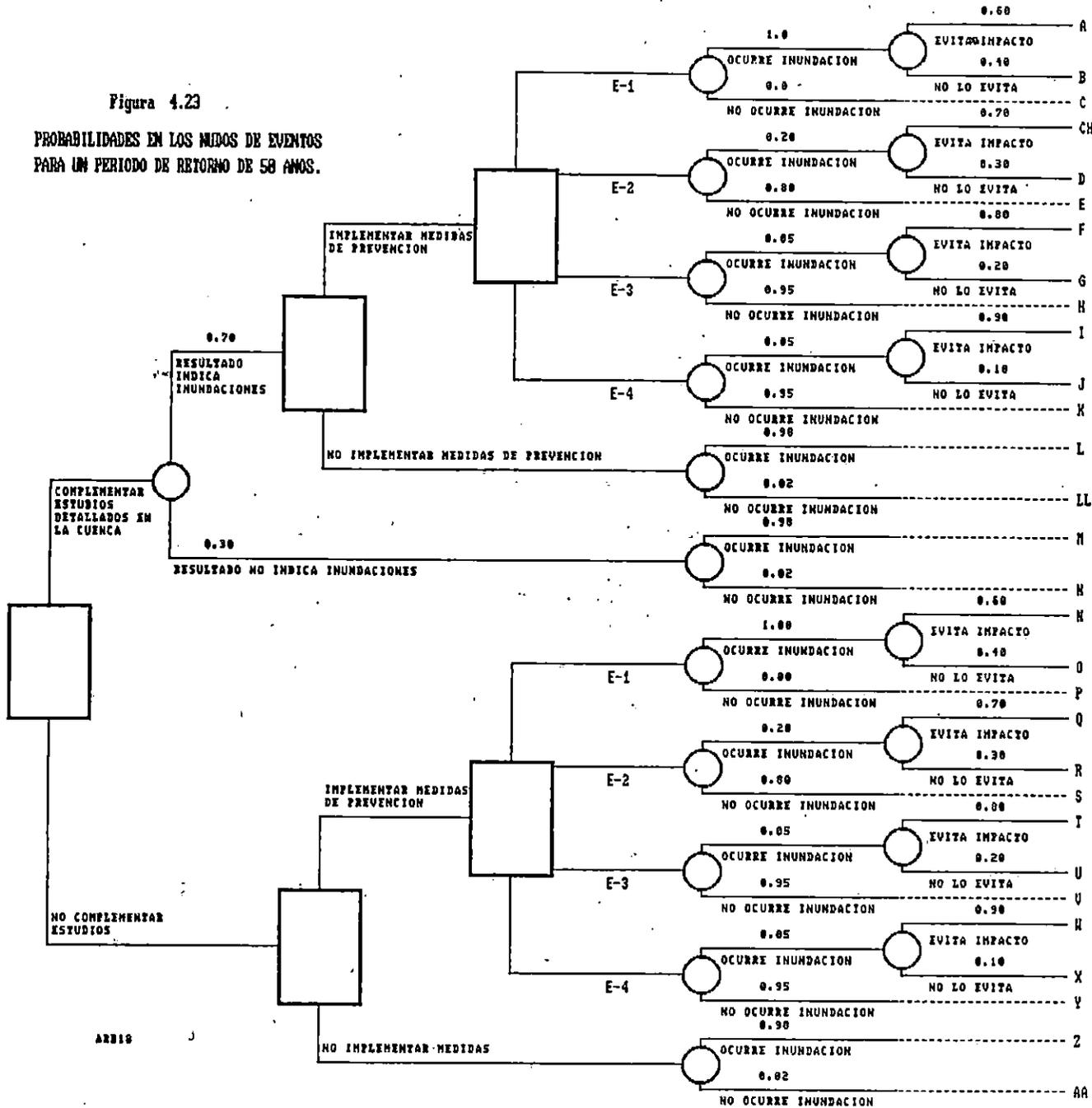
ARB16

Figura 4.22  
 PROBABILIDADES EN LOS MUDOS DE EVENTO  
 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.



ARBI7

Figura 4.23  
 PROBABILIDADES EN LOS NIDOS DE EVENTOS  
 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.



ARBIS

#### 4.5 EVÁLUACION FINAL DEL ARBOL DE DECISIONES

La evaluación final del árbol de decisiones se hará para tres períodos de retorno ( $tr = 5$  años,  $tr = 25$  años y  $tr = 50$  años) aprovechando que existe suficiente información para realizarla, obteniendo así, la estrategia óptima que garantice la no ocurrencia de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para cada período considerado.

Esta evaluación se hace en forma detallada para el período de retorno de 50 años, ya que el procedimiento es similar para 5 y 25 años; períodos para los cuales únicamente se muestra el resultado.

##### 4.5.1 Selección del Método a utilizar

Debido a que el problema en estudio, igual que el caso del deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello tiene objetivos múltiples y que éstos no son exclusivamente monetarios, el método de evaluación a utilizar será el método de reducción, el cual fue detallado ampliamente en el Capítulo III, por lo que en este caso solamente se describirán las etapas del mismo con sus correspondientes resultados.

##### a) Selección de la posición terminal, como posición base.

La selección base que se escoge es aquella que cumple con los objetivos trazados. Para este caso la posición base seleccionada, es donde la cuenca del río Grande de San Miguel, se encuentra sin daños.

##### b) Diferencia de los puntos terminales con la posición base.

En cada posición terminal se escriben las diferencias con la posición base.

Al comparar esta posición con los puntos terminales mostrados en la Figura No. 4.16, se obtienen los siguientes resultados:

A	-27,000,000	No hay diferencia
B	-27,000,000	Zona destruida
C	-27,000,000	No hay diferencia
CH	-85,100,000	No hay diferencia
D	-85,000,000	Zona destruida
E	-85,100,000	No hay diferencia
F	-150,000,000	No hay diferencia
G	-150,000,000	Zona destruida
H	-150,000,000	No hay diferencia
I	-58,375,000	No hay diferencia
J	-58,375,000	Zona destruida
K	-58,375,000	No hay diferencia
L	-1,000,000	Zona destruida
LL	-1,000,000	No hay diferencia
M	-1,000,000	Zona destruida
N	-1,000,000	No hay diferencia
N	-26,000,000	No hay diferencia
O	-26,000,000	Zona destruida
P	-26,000,000	No hay diferencia
Q	-84,000,000	No hay diferencia
R	-84,000,000	Zona destruida
S	-84,000,000	No hay diferencia
T	-149,000,000	No hay diferencia
U	-149,000,000	Zona destruida
V	-149,000,000	No hay diferencia

W	-57,375,000	No hay diferencia
X	-57,375,000	Zona destruida
Y	-57,375,000	No hay diferencia
Z	0.00	Zona destruida
AA	0.00	No hay diferencia

c) Cantidad equivalente a las diferencias.

En este caso, igual que en el anterior el decisor es el Gobierno de la República a través de las dependencias respectivas, de donde se estima que éste pagará ¢ 125,000,000 como máximo para pasar a la posición base.

d) Curva de preferencia.

En el problema de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, igual que el problema del deslizamiento de tierra, el que toma las decisiones en la búsqueda de soluciones es el Gobierno de la República de El Salvador, por lo que, la curva de preferencia para este decisor, es similar a la gráfica que se presenta en la Figura 3.19.

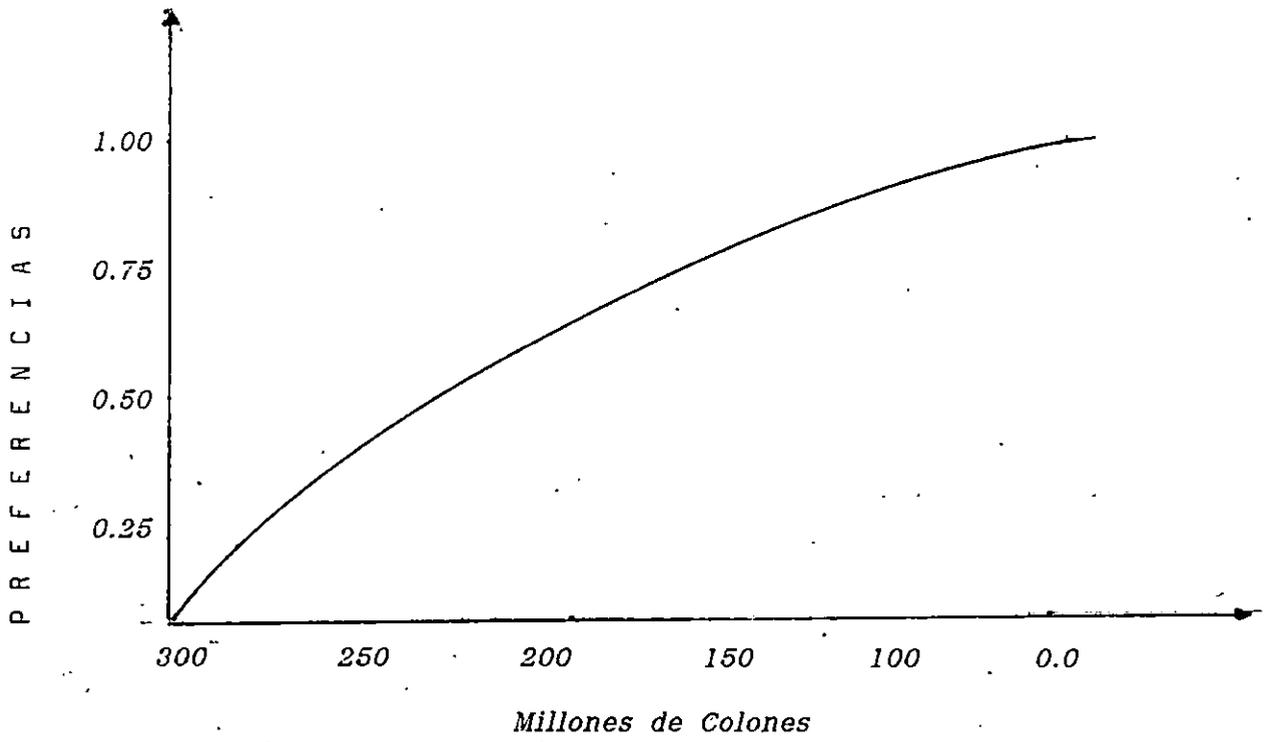


FIGURA 4.24

CURVA DE PREFERENCIA

e) Ajuste de valores terminales y asignación de preferencias.

Se restan en esta parte los € 125,000,000 establecidos en el literal c) a los puntos terminales que tienen diferencia con la posición base, descritos en el literal b).

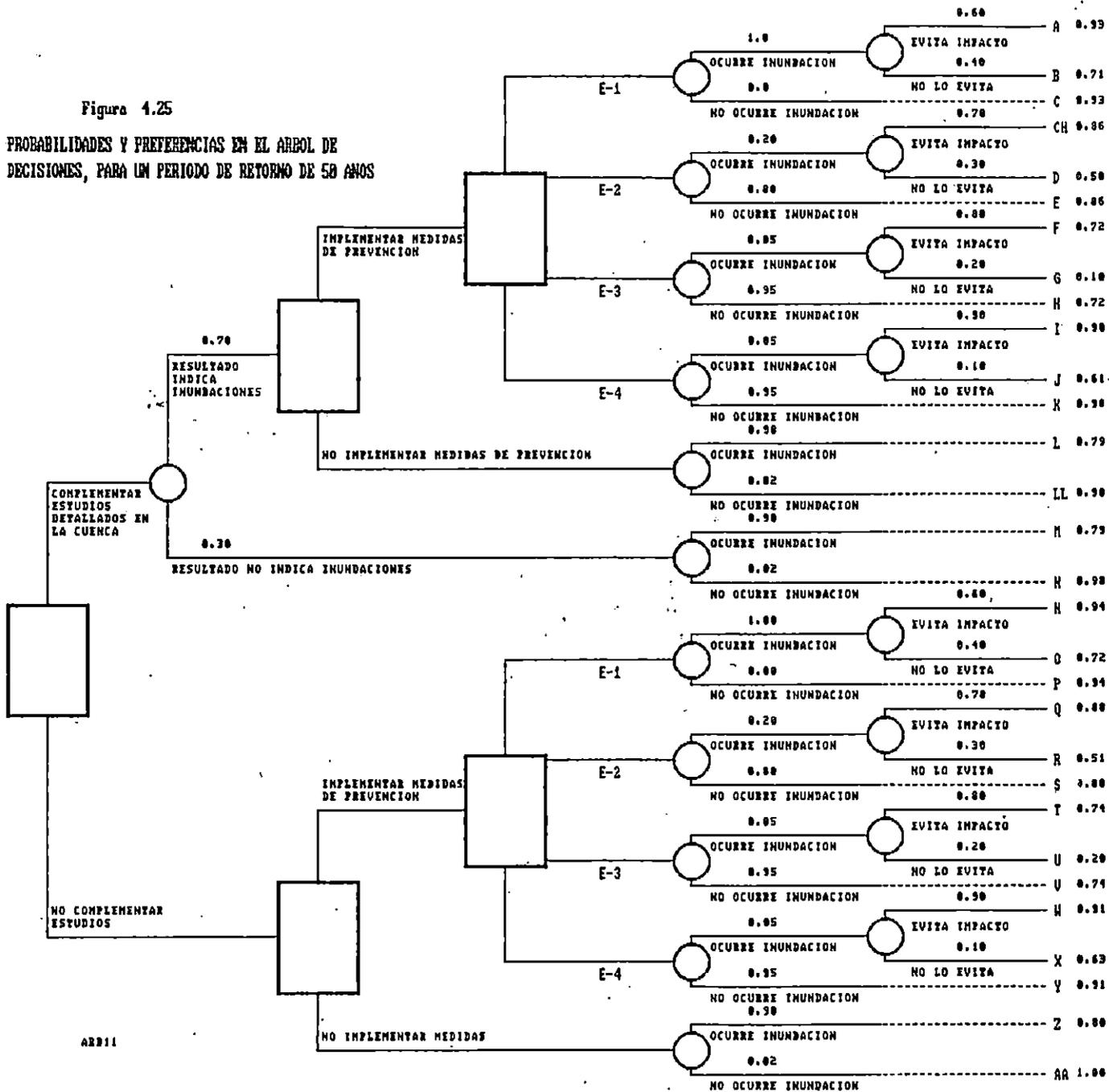
Los valores obtenidos se describen a continuación con su correspondiente preferencia obtenida de la gráfica de la Fig. No. 4.24.

PREFERENCIAS		
A	-27,000,000	0.93
B	-152,000,000	0.71
C	-27,000,000	0.93
CH	-85,100,000	0.86
D	-210,000,000	0.50
E	-85,100,000	0.86
F	-150,000,000	0.72
G	-275,000,000	0.10
H	-150,000,000	0.72
I	-58,375,000	0.90
J	-183,375,000	0.61
K	-58,375,000	0.90
L	-126,000,000	0.79
LL	-1,000,000	0.98
M	-126,000,000	0.79
N	-1,000,000	0.98
N̄	-26,000,000	0.94
O	-151,000,000	0.72
P	-26,000,000	0.94

Q	-84,000,000	0.88
R	-209,000,000	0.51
S	-84,000,000	0.88
T	-149,000,000	0.74
U	-274,000,000	0.20
V	-149,000,000	0.74
W	-57,375,000	0.91
X	-182,375,000	0.63
Y	-57,375,000	0.91
Z	-125,000,000	0.80
AA	0.000	1.00

*Obtenidas las preferencias se trasladan a los puntos terminales del árbol de decisiones, junto con las probabilidades de los diferentes nudos de eventos, como se muestra en la Fig. 4.25.*

Figura 4.25  
 PROBABILIDADES Y PREFERENCIAS EN EL ARBOL DE  
 DECISIONES, PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 ANOS

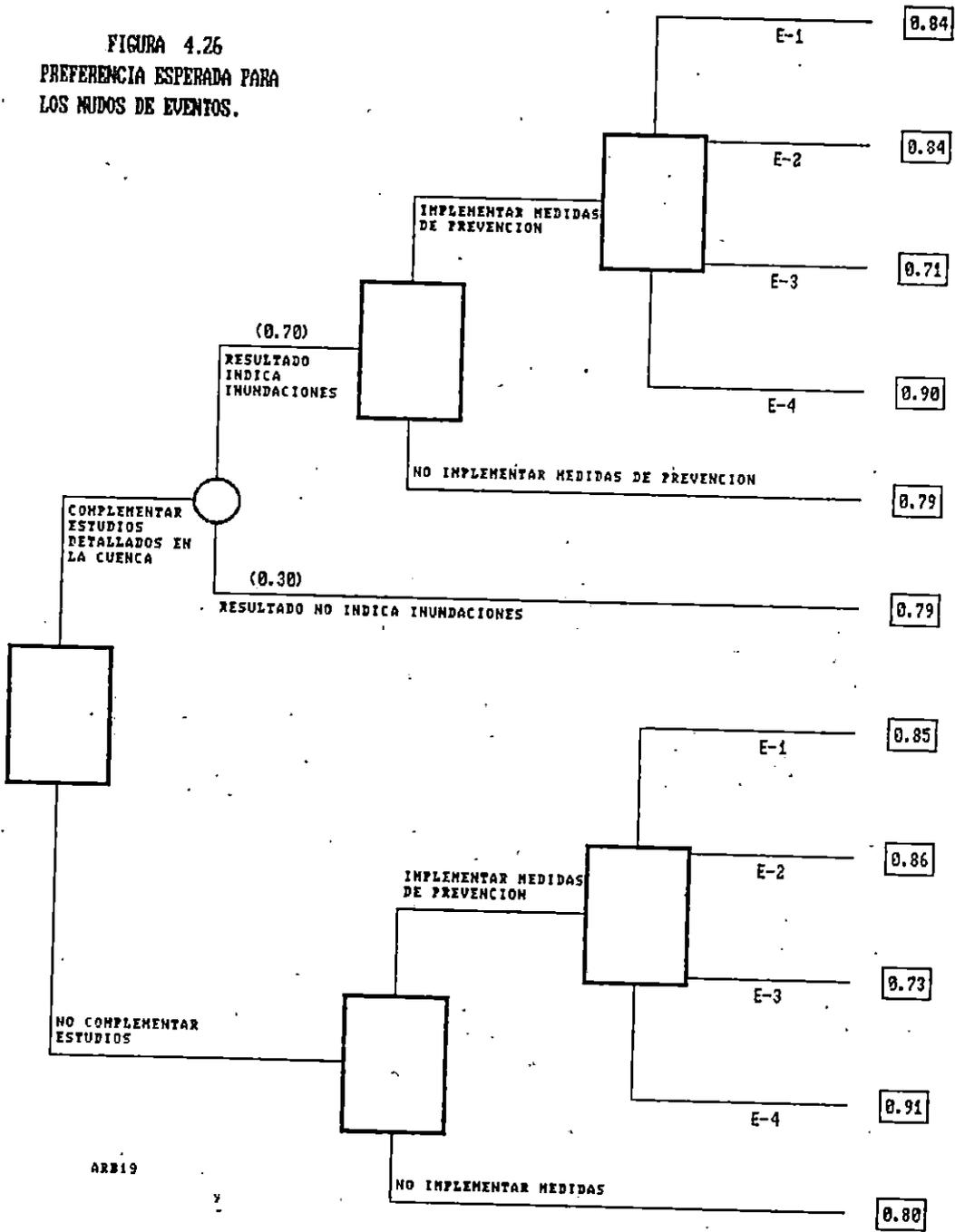


ARB11

*A continuación se calcula para cada punto de incertidumbre, la preferencia esperada, multiplicando la preferencia de cada punto terminal por la probabilidad de la rama, sumando este resultado para todas las ramas que salen de un mismo nudo de evento. El valor que se obtiene se sustituye por el punto o nudo de evento.*

*Este procedimiento se continúa de forma similar para todos los nudos de eventos, hasta llegar a un punto de decisión, los valores obtenidos se muestran en la Fig. No. 4.26.*

FIGURA 4.26  
 PREFERENCIA ESPERADA PARA  
 LOS AJUSTES DE EVENTOS.

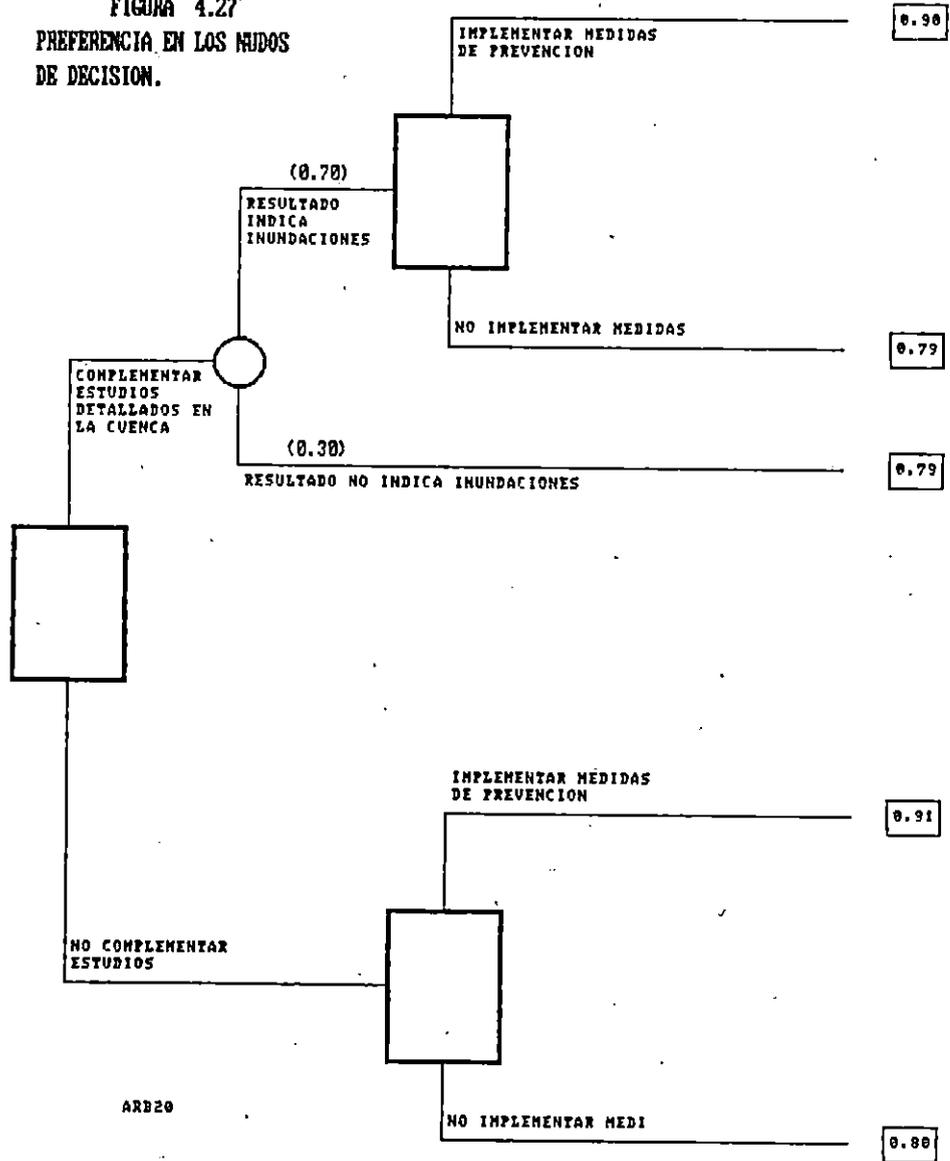


ARB19

Cuando se llega a un nudo de decisión, se selecciona el acto que maximiza la preferencia.

Para el caso, de la Fig. No. 4.26, los actos que maximizan la preferencia son: para el último punto de decisión en la rama de complementar estudios, 0.90, cerrando con dos líneas paralelas, las demás rutas, y para el último punto de decisión en la rama de no complementar estudios, 0.91. Estos valores se sustituyen por su correspondiente nudo de decisión, como se muestra en la Fig. No. 4.27

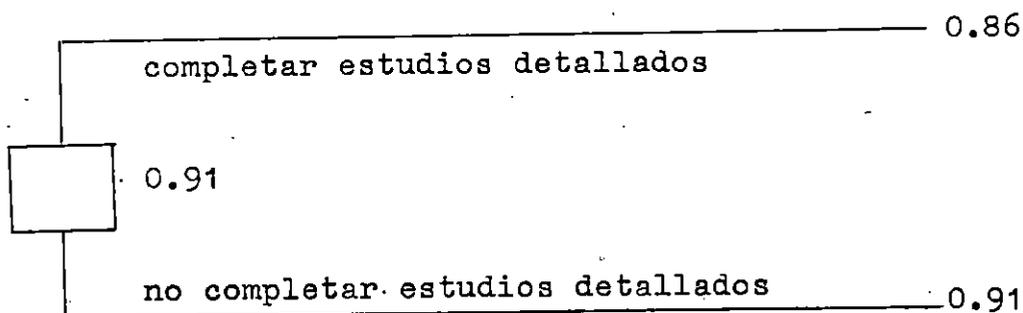
FIGURA 4.27  
PREFERENCIA EN LOS NUDOS  
DE DECISION.



Este procedimiento continúa de igual forma hasta llegar al punto de decisión inicial, los valores obtenidos se muestran en la Fig. No. 4.28.

Figura No. 4.28

PREFERENCIA EN EL NUDO DE DECISION INICIAL



4.5.1.1 Selección de la Estrategia Óptima

Los resultados de la evaluación del árbol de decisiones para un período de retorno de 50 años, se muestran en forma detallada en la Figura No. 4.29, señalándose además la ruta que representa la estrategia óptima a implementar para este período de retorno.



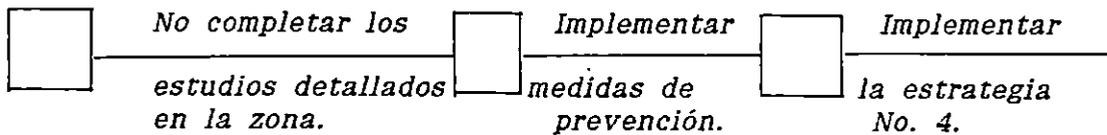
De la Fig. No. 4.29 se obtiene la estrategia óptima, que el decisor debe de seguir para minimizar el riesgo de la nueva ocurrencia de inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.

La estrategia óptima es la que se muestra a continuación:

Fig. No. 4.30

ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR

PARA UN  $tr = 50$  años

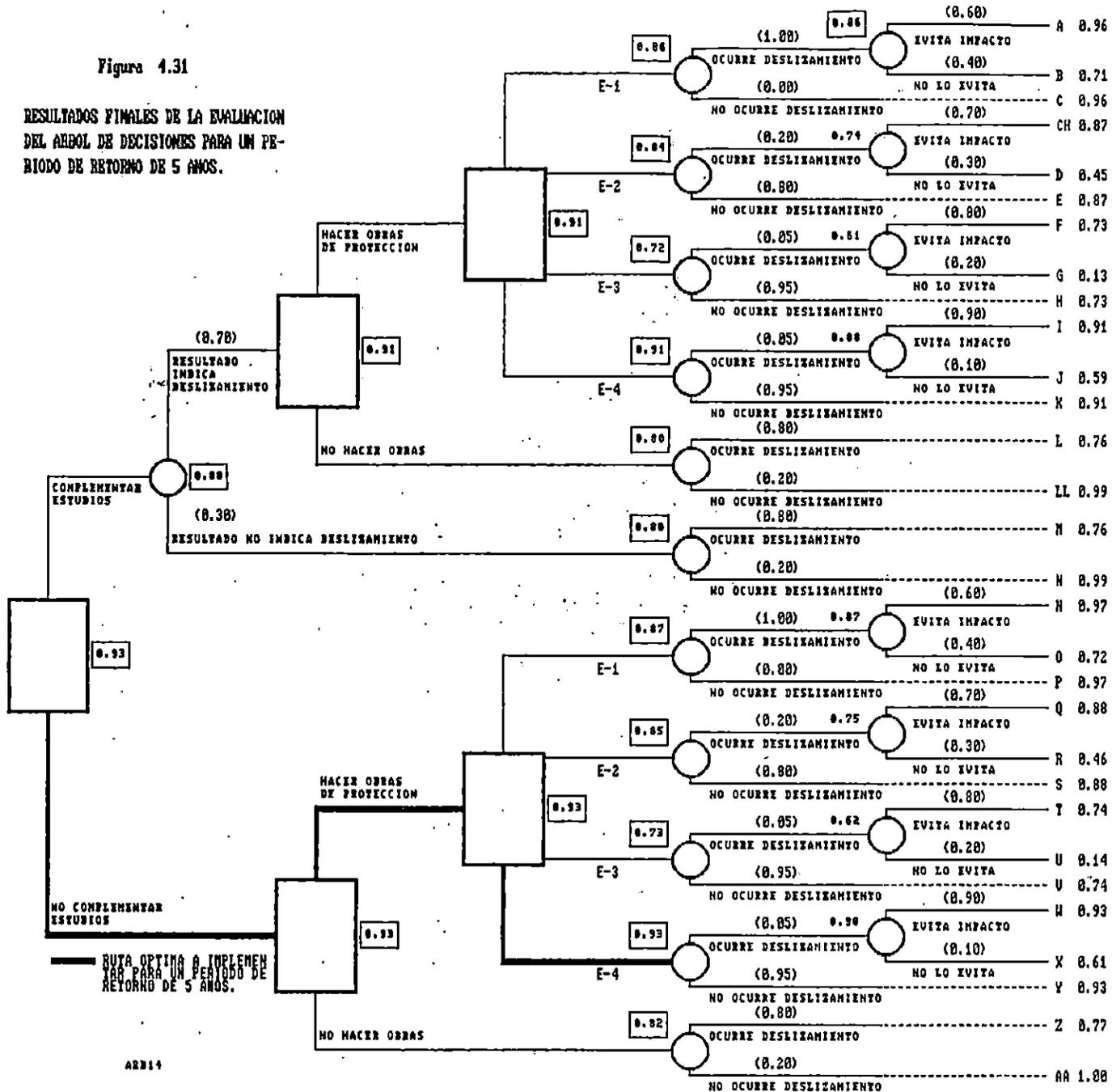


Los resultados obtenidos de la evaluación para los períodos de retorno de 5 y 25 años, son los que se muestran en las Figuras Nos. 4.31 y 4.33 respectivamente, señalándose además en estas figuras, la estrategia óptima a seguir por el decisor para cada período considerado.

De la Fig. No. 4.31 se obtiene que la estrategia óptima a implementar para minimizar el riesgo de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para un  $tr = 5$  años, es la que se muestra a continuación en la siguiente figura.

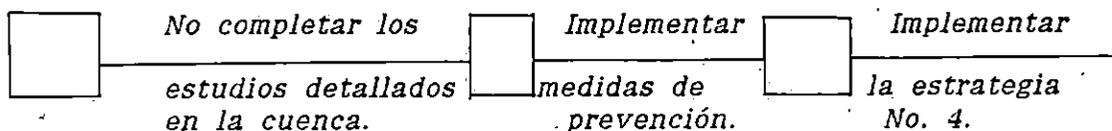
Figura 4.31

RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL ARBOL DE DECISIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 ANOS.



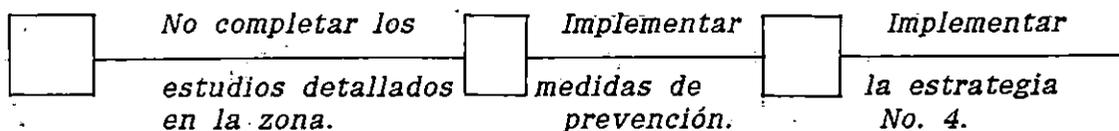
— RUTA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 ANOS.

Fig. No. 4.32

ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN  $tr=5$  años

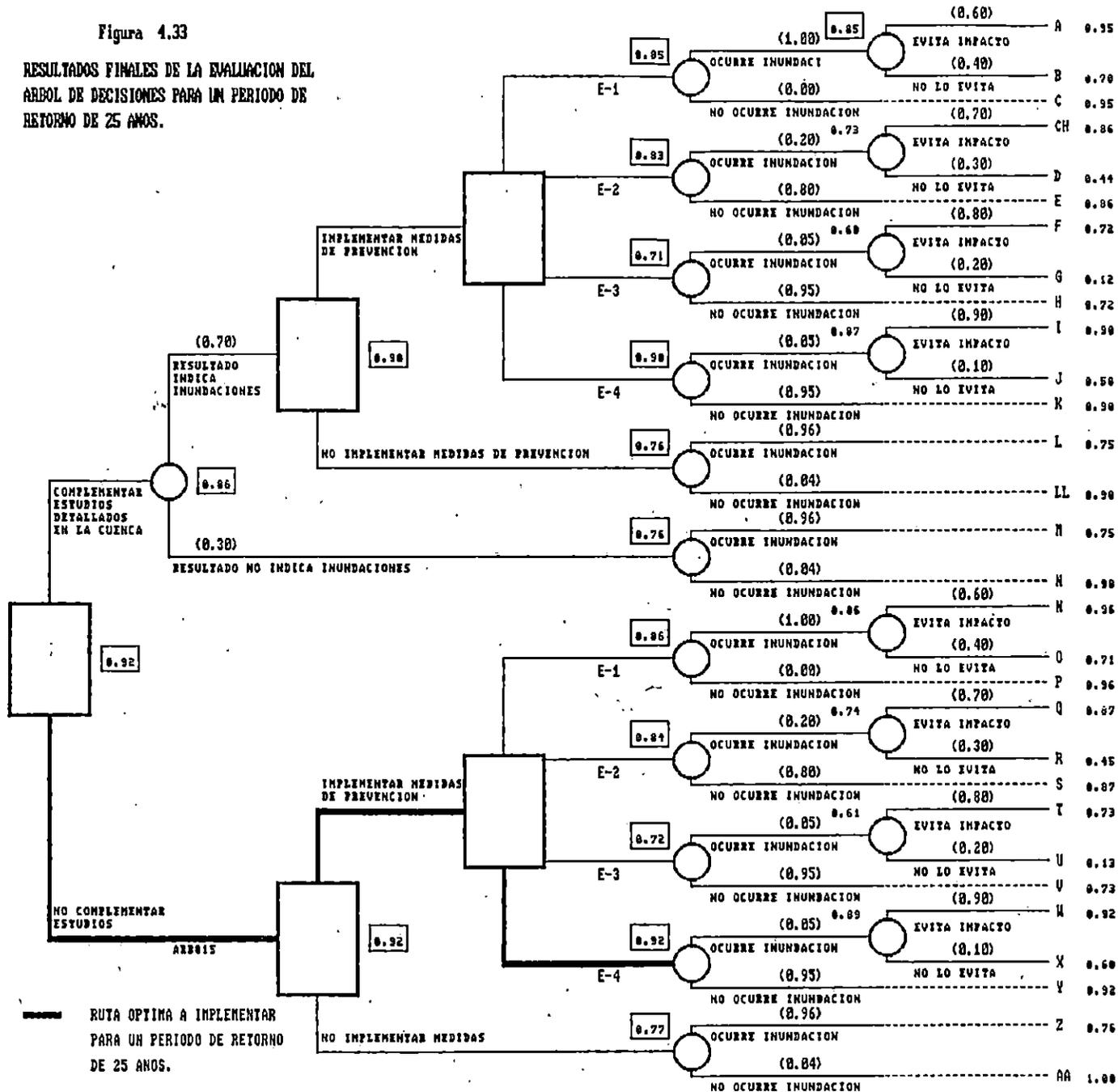
De la Fig. No. 4.33 se obtiene que la estrategia óptima a implementar para minimizar el riesgo de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para un  $tr=25$  años, es la que se muestra a continuación en la siguiente figura.

Fig. No. 4.34

ESTRATEGIA OPTIMA A IMPLEMENTAR PARA UN  $tr=25$  años

Igual que para el caso del deslizamiento de tierra, al implementar el camino óptimo descrito en las Figuras Nos. 4.30, 4.32 y 4.34 para los tres períodos de retorno considerados ( $tr=5$  años,  $tr=25$  años y  $tr=50$  años) ejecutando la estrategia No. 4, se deben realizar los estudios necesarios para obtener un diseño definitivo de dicha estrategia, incrementando los costos adicionales a los descritos en el Cuadro No. 4.15. Es decir, que, como en el caso anterior, en la rama donde se dice que no se completen los estudios detallados, se refiere a estudios generales para conocer el riesgo de nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.

Figura 4.33  
 RESULTADOS FINALES DE LA EVALUACION DEL  
 ARBOL DE DECISIONES PARA UN PERIODO DE  
 RETORNO DE 25 ANOS.



## CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- El Salvador por su ubicación geográfica y sus características climáticas, morfológicas, sísmicas, hidrográficas, etc., es un país expuesto a eventuales fenómenos naturales; lo que interrelacionado con las estructuras políticas, sociales y económicas, hacen que dichos fenómenos se conviertan con extrema facilidad en desastres naturales, afectando a la mayoría de la población, especialmente a los sectores populares.

- Fundamentalmente los fenómenos torrenciales y poca efectividad de la aplicación de las leyes vigentes para controlar el desarrollo urbano, aunados a las pobres condiciones de los suelos, por el mal uso y descuido de éstos, ocasionan dos tipos de desastres: los deslizamientos de tierra y las inundaciones.

La utilización del Arbol de Decisiones como un instrumento para la aplicación de la teoría de decisiones, permite al decisor poder interpretar y visualizar con una mejor facilidad todas las estrategias que debe considerar la selección de un problema; y así poder obtener a través de la evaluación final, mediante el concepto de regreso a un nivel inferior, la mejor estrategia para solucionar el problema en estudio.

Luego de elaborado el Arbol de Decisiones y obtenidos los costos de cada una de las estrategias, una etapa también muy importante para la evaluación final del Arbol de Decisiones, es la obtención de las probabilidades para

asignarla a los nudos de eventos. Para obtener estas probabilidades cuando no se cuenta con suficiente información para obtenerlas objetivamente. Se hace necesario recurrir a expertos conocedores de cada uno de los casos para poder obtener a través de sus conocimientos y experiencia las probabilidades subjetivas y poder asignarlas al Arbol de Decisiones.

- El trabajo se concretó al estudio de dos casos específicos de la aplicación de la Teoría de Decisiones a los desastres naturales; esto no limita que dicha teoría sea aplicable a cualquier tipo de desastre natural, lo que hace que sea una herramienta básica para el estudio y tratamiento de estos problemas comúnmente sufridos en El Salvador, contribuyendo así a la búsqueda de soluciones apropiadas en beneficio de la sociedad.

- Del estudio y aplicación de la teoría de decisiones al caso del deslizamiento de tierra ocurrido en septiembre de 1982 en la subcuenca de la quebrada El Nispero y cuyos efectos fueron sufridos en su mayor parte en la Colonia Montebello, se concluye que la amenaza de un nuevo desastre de este tipo aún persiste y que puede presentarse nuevamente con cantidades de lluvias similares a las precipitadas en dicha fecha; determinándose así que existe una probabilidad del 98% (0.98) de que ocurra nuevamente un deslizamiento de tierra en esa zona, para los 50 años considerados como período de análisis, si se mantienen las actuales condiciones bajo las cuales se encuentra el volcán de San Salvador.

Al aplicar la Teoría de Decisiones al problema de un nuevo deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello, a través de la evaluación del Arbol de

Decisiones, en el que se muestran las diversas estrategias que el decisor puede tomar con el objeto de evitar nuevamente una catástrofe de esta naturaleza, se determina que el camino óptimo a seguir es el siguiente:

No realizar estudios detallados de carácter regional de la zona para conocer el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra, ya que con la información disponible se puede proveer que bajo las actuales condiciones en que se encuentra la zona del Volcán de San Salvador, en cualquier momento se puede presentar una nueva catástrofe de esta naturaleza.

Implementar medidas de prevención para disminuir el riesgo de un nuevo deslizamiento de tierra.

Implementar la estrategia No. 3 descrita en el numeral 3.3.1.3 por ser la que mejor resuelve el problema del deslizamiento de tierra a un costo razonable. La implementación de esta estrategia si requiere un estudio o diseño específico.

- Las inundaciones ocasionadas en el pasado por el río Grande de San Miguel, siguen constituyendo una amenaza para las zonas aledañas a las riberas del río, de acuerdo al estudio y aplicación de la teoría de decisiones a este caso. Estas inundaciones pueden ocurrir con mayor efecto catastrófico en cualquier estación lluviosa, de mantenerse las mismas condiciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, siendo necesario implementar a la mayor brevedad, medidas de prevención.

- Al aplicar la teoría de decisiones al problema de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para los períodos de análisis de 5, 25 y 50 años, se determinó que la estrategia óptima a implementar no varía para los períodos considerados, debido a que los costos de las estrategias aumentan

proporcionalmente con los años, y las probabilidades de los diferentes nudos de eventos se mantienen igual, excepto la probabilidad de ocurrencia de nuevas inundaciones, la cual no determina por sí sola, el resultado de la evaluación del árbol de decisiones.

- De la evaluación del árbol de decisiones al caso de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, se concluye que el camino óptimo a seguir para disminuir el riesgo de nuevas inundaciones para los tres períodos considerados ( $tr= 5$ ,  $tr= 25$  y  $tr= 50$ ) es el siguiente:

. . No complementar estudios detallados en la zona, ya que con los realizados anteriormente se conoce el riesgo de que ocurran nuevas inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel.

. . Implementar medidas de prevención para disminuir el riesgo de nuevas inundaciones.

. . Implementar la estrategia No. 4 por ser la que mejor resuelve el problema de las inundaciones a un costo razonable.

- De la investigación realizada se concluye que la teoría de decisiones, es la herramienta básica para el tomador de decisiones, ya que facilita la obtención de la estrategia óptima a implementar cuando se tiene una diversidad de estrategias en la búsqueda de soluciones para un problema en particular.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Con los modelos creados en los casos del deslizamiento de tierra en la Colonia Montebello y el de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San

Miguel, que éstos se tomen como patrones para estudiar mediante la aplicación de la teoría de decisiones, a otros casos similares para las diferentes regiones del país, con problemas de esta naturaleza, contribuyendo así a la búsqueda de soluciones en beneficio de la sociedad salvadoreña.

- Aplicar la teoría de decisiones para contribuir a la búsqueda de soluciones a diferentes casos de desastres naturales, comúnmente sufridos en El Salvador, para ser tomados como modelos y que sirvan de guía en el estudio de casos similares.

El problema que se recomienda como el más urgente a ser estudiado a través de la teoría de decisiones es el caso de los terremotos, los que ocurren con mucha frecuencia a lo largo de la zona costera del país.

- Para evitar la nueva ocurrencia de un deslizamiento de tierra en la quebrada El Nispero, y cuyos efectos serían sufridos como en el pasado en la Colonia Montebello; se recomienda implementar urgentemente la estrategia No. 3 en forma integral, tal y como fue presentada por el Ministerio de Obras Públicas. Es decir, darle continuidad a la estrategia, implementando todas las obras que en ella se mencionan, ya que en la actualidad únicamente se han realizado las siguientes obras: el sellamiento de las grietas sobre el camino de tierra que cruza transversalmente la Quebrada El Nispero, la construcción de gaviones transversales a la cuenca de recepción y los palos piques primarios y secundarios; faltando por implementar, las terrazas tipo bancal primarias y secundarias, el tratamiento vegetativo para la zona, las obras de drenaje para la cuenca de recepción y para el camino de tierra, así como también los canales de tierra propuestos.

En este sentido, para que la estrategia presentada por el M.O.P. cumpla con su objetivo, es necesario implementar en el menor tiempo posible, las obras que aún no se han realizado, proporcionándole además a todo el conjunto, un mantenimiento constante.

- Se recomienda la pronta atención al problema de las inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel, para evitar se continúe la amenaza de la vida humana, así como también la destrucción de la economía, implementando la estrategia que resultó óptima después de la evaluación del árbol de decisiones; la cual consiste en la rectificación y dragado del río por una parte, así como también la construcción de una presa en la zona de El Delirio, para un período de vida útil de 50 años, con el fin de obtener un mayor beneficio de la inversión.

- Implementar el estudio de la teoría de decisiones a nivel universitario, para su difusión y aplicación a todos los campos donde se hace necesario tomar decisiones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Acosta Flores, José Jesús (1977) " Teoría de Decisiones en el Sector Público y en la Empresa Privada". Primera Editor, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México.
2. Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (octubre 1987). Desastres Naturales en Centroamérica.
3. Allan Lawel, (junio 1988). Desastres Naturales y Zonas de Riesgo en Centroamérica. Condiciones y Opciones de Prevención y Mitigación.
4. Alvarado, José Antonio (diciembre 1986). El Terremoto del 10 de octubre y la Reconstrucción Nacional. UCA Editores.
5. Baena Paz, Guillermina (octubre 1982). Instrumentos de Investigación. 9a. Edición, Editores Mexicanos Unidos.
6. Baró, Ignacio Martín. (diciembre 1987). Así piensan los Salvadoreños Urbanos. UCA Editores.
7. Castillo Guillén, José Guillermo (septiembre 1983). Consideraciones para la Evaluación y Predicción de Inundaciones en la Cuenca del río Grande de San Miguel. Tesis UCA.
8. Comisión Técnica para el Estudio de Zonas Habitacionales de San Salvador. (noviembre 1982). Estudio Técnico de las Causas y Efectos ocasionados por el Temporal del 17 al 20 de septiembre.
9. EMYCSA de C.V. (1986) Perfil Ambiental de El Salvador. AID.
10. Hopf, Joseph (julio 1983). Informe preparado para el Gobierno de El Salvador sobre el deslizamiento en la Subcuenca El Nispero.
11. Kojan, Eugene (junio 1983). Reporte sobre el daño de Flujos de Lodo en el área del volcán de San Salvador.

12. Larios López, Dina A. (enero 1987). *Ubicación Geológica del A.M.S.S. y el Terremoto del 10 de octubre de 1986*. Editorial Universitaria (UES).
13. Marroquín Arévalo, Héctor (noviembre 1982). *La Degradación de los Recursos Naturales*. Editores SIADES.
14. Ministerio de Agricultura y Ganadería (1991). *Almanaque Salvadoreño*. Editores M.A.G.
15. Ministerio de Cultura y Comunicaciones (1986). *Geografía de El Salvador*. Editores, Dirección de Publicaciones.
16. Organización Panamericana de la Salud (julio 1990). *Los Desastres y sus Efectos*. Editores O.P.S.
17. Raiffa, Howard (1978). *Análisis de la Decisión Empresarial*. 1a. edición. Ediciones Deusto, S.A., España.
18. Rheault, Jean Paul (1975). *Introducción a la Teoría de las Decisiones, con aplicación a la Administración*. Segunda reimpresión, Editorial Limusa, S. A., México, D.F.
19. Sorto, José Mario (1992). *Curso sobre Toma de Decisiones Gerenciales para Ingenieros y Arquitectos*. ASIA-FEPADE. San Salvador, El Salvador.
20. Thierauf, Roberth (1972). *Toma de Decisiones por medio de la Investigación de Operaciones*. Primera edición, Editorial Limusa-Wiley, S.A. México, D.F.

## ANEXO

## LISTA DE SIGLAS

AMSS	: Area Metropolitana de San Salvador
ASIA	: Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos
COEN	: Comité de Emergencia Nacional
EBC	: Equivalente Bajo Certeza
IICA	: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IGN	: Instituto Geográfico Nacional
ISREN	: Instituto Salvadoreño de Recursos Naturales
MAG	: Ministerio de Agricultura y Ganadería
MIPLAN	: Ministerio de Planificación
MOP	: Ministerio de Obras Públicas
OEA	: Organización de Estados Americanos
OMS	: Organización Mundial de la Salud
ONU	: Organización de Naciones Unidas
OPS	: Organización Panamericana para la Salud
UCA	: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"
VEM	: Valor Esperado Monetario