

T-VES
1501
C355
1994
Ej. 2

Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE .

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

MARCO ANTONIO CASTRO RAUDA
EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS
FRANCISCO ANTONIO ROBLES

15101814
15101814

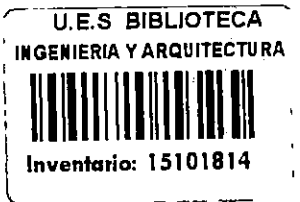
PARA OPTAR AL TITULO DE :

INGENIERO CIVIL



FEBRERO 1994.

SAN SALVADOR , EL SALVADOR, CENTRO AMERICA



**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

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL
EMBALSE CERRON GRANDE.

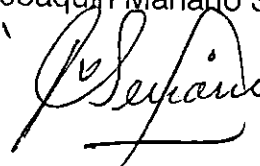
PRESENTADO POR : Marco Antonio Castro Rauda.
Edwin Santiago Escobar Rivas.
Francisco Antonio Robles.

Trabajo de graduación aprobado por :

Coordinador y asesor : Ing. José Mario Sorto.



Asesor : Ing. Joaquin Mariano Serrano Choto.



San Salvador, Febrero de 1994.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ.



DEDICATORIA.

Quiero agradecer a todos los que me permitieron conseguir con éxito la finalización de esta obra.

DIOS TODOPODEROSO : Por permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A MI FAMILIA CON ESPECIAL AMOR.

A MI PADRE : Salvador Alfredo Castro por brindarme su apoyo y amor en toda mi formación, con respeto.

A MI MADRE : Maria Teresa de Castro Rauda Por sus oraciones y consejos en todo momento, con amor.

A MI HERMANO : Miguel Alfredo Castro Rauda Con todo cariño y amor fraternal.

A MIS TIOS : Benjamin Caceres y Julia de Caceres Rauda con especial cariño.

A EDIFICACIONES CHOUSSY : Por brindarme su apoyo y colaboración.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS : Edwin y Francisco, por su
esfuerzo para la realización
de este trabajo.

Y a todos mis amigos y personas que en todo momento me
brindaron su apoyo moral y estuvieron pendientes de este
logro. GRACIAS!!!!

MARCO ANTONIO.

DEDICATORIA.

Con la finalización de esta obra, alcanzo con éxito una, sino la más importante, de las metas más preciadas de mi vida, como lo es el Título de Ingeniero Civil, por lo cual quiero agradecer y dedicar este logro a :

DIOS TODOPODEROSO : Por darme todo lo que poseo y guiarme con su mano en el momento justo.

A MI PADRE : Mario Escobar, quien con su ejemplo intachable marco el rumbo de mi vida.

A MI MADRE : Yolanda Rivas de Escobar, quien con su amor, oraciones y consejos me impulsa a trazarme metas aún más grandes.

A MIS HERMANOS : Ana, Mario, Liliana, Iris y Roberto, por su cariño y confianza, esperando que este logro signifique para ellos un aliciente para seguir adelante en la vida.

A MI ESPOSA : Rosa Hilda, con especial amor y agradecimiento por su sacrificio y comprensión a lo largo de mi carrera.

A MIS HIJOS

: Edwin Alejandro y Ligia Elena, con
un amor y cariño infinito.

En fin a todos mis amigos y personas que siempre
confiaron en mí y me acompañaron con su apoyo moral en la
difícil tarea que ahora termino.

EDWIN SANTIAGO.

DEDICATORIA.

- DIOS TODOPODEROSO** : Por darme sabiduría y fortaleza para culminar las metas propuestas.
- A MI PADRES** : Rosa E. Robles y Francisco Antonio Chavarría, por su cariño, comprensión y consejos, lo que ha permitido que culmine todas las metas propuestas.
- A SILVIA** : Por su amor y constante apoyo en todo momento.
- A MIS ABUELOS** : Lucía Callejas, Wencelao Robles (De grata recordación), Ana de Chavarría y Miguel Chavarría (De grata recordación), por su cariño y apoyo.
- A MI HERMANOS Y
DEMÁS FAMILIARES** : Les dedico este trabajo con cariño.
- A MIS COMPAÑEROS DE TESIS** : Edwin y Marco Antonio, por que sin su esfuerzo este trabajo no hubiera sido posible.

A mis amigos y compañeros que estuvieron pendientes y nos brindaron su apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo.

FRANCISCO.

I N D I C E

Página

C A P I T U L O I

INTRODUCCION	1
1.0 GENERALIDADES	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.2 JUSTIFICACION	9
1.3 OBJETIVOS	10
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	11

C A P I T U L O II

CARACTERISTICAS FISICAS E HIDROLOGICAS DE LA CUENCA	15
2.0 INTRODUCCION	15
2.1 ANTECEDENTES	16
2.2 GENERALIDADES	23
2.3 CARACTERISTICAS RELEVANTES DE LA CUENCA (AREA EN ESTUDIO)	25
2.3.1 MORFOLOGIA DE LA CUENCA DEL EMBALSE ...	25
2.3.2 GEOMORFOLOGIA	26
2.3.3 GEOLOGIA	35
2.3.4 SUELOS	42
2.3.5 CLIMA	45
2.3.6 HUMEDAD RELATIVA	50
2.3.7 VIENTOS	54
2.3.8 EVAPOTRANSPIRACION	58

2.4 ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES EN LA CUENCA- DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE	62
2.4.1 PRECIPITACIONES ANUALES (mm.)	62
2.4.2 VARIACION MENSUAL DE LA LLUVIA (mm.) ..	64
2.4.3 INTENSIDAD DE LA LLUVIA	67
2.5 ESCORRENTIA SUPERFICIAL	69
2.5.1 VARIACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES.	69
2.5.2 ARRASTRE DE SEDIMENTOS (CALCULO PRELI- MINAR)	70
2.5.2.1 DETERMINACION DEL CAUDAL SOLIDO	73
 C A P I T U L O I I I	
CALCULO DE LA PERDIDA POTENCIAL DEL SUELO DE LA CUENCA	75
3.0 INTRODUCCIÓN	75
3.1 GENERALIDADES	76
3.1.1 ORIGENES Y FUENTES DE PRODUCCION DE SEDIMEN - TOS	79
3.3 CARACTERISTICAS FISICAS E HIDROLOGICAS DE LA- CUENCA EN RELACION CON EL APORTE DE SEDIMEN- TOS	86
3.3.1 CARACTERISTICAS FISICAS (FACTORES EX- TERNOS)	86
3.3.2 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS	88
3.4 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL SE- DIMENTO	91
3.4.1 MUESTRAS DE SEDIMENTOS, DE FONDO Y EN - SUSPENSION	100

3.4.1.1 MUESTRAS DE SEDIMENTO DE FONDO.	100
3.4.1.2 MUESTRAS DE SEDIMENTO EN SUS- PENSION	103
3.5 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO - (USLE)	106
3.5.1 ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDI- DA DE SUELO (MUSLE)	110
3.5.2 METODO PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS - QUE FORMAN PARTE DE LA ECUACION - UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE - SUELO (MUSLE)	112
3.5.2.1 FACTOR DE ESCORRENTIA --- 0.56 $[11.8(V*Q)]$	113
3.5.2.2 FACTOR DE ERODABILIDAD DEL - SUELO (K)	120
3.5.2.3 FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L)	123
3.5.2.4 FACTOR DE INCLINACION O GRADO- DE PENDIENTE (S)	123
3.5.2.5 FACTOR DE CULTIVOS	126
3.5.2.6 FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL- DE EROSION (P)	128
3.5.3 APLICACION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE- PERDIDA DE SUELO, EN LAS SUBCUENCAS- DE LOS PRINCIPALES RIOS AFLUENTES AL- EMBALSE DEL CERRON GRANDE	129
3.5.3.1 SUBCUENCA DEL RIO SUQUIAPA ...	131

3.5.3.2	SUBCUENCA DEL RIO ACELHUATE ..	132
3.5.3.3	SUBCUENCA DEL RIO GUAJOYO	133
3.5.3.4	SUBCUENCA DEL RIO TAMULACO ...	134
3.5.3.5	SUBCUENCA DEL RIO TAHUILAPA ...	135
3.5.3.6	SUBCUENCA DEL RIO METAYATE ...	136
3.5.3.7	SUBCUENCA DEL RIO NUNUAPA ...	137
3.5.3.8	SUBCUENCA DEL RIO QUEZALAPA ...	138
3.5.3.9	SUBCUENCA DEL RIO GDE. CHALATE .	139
3.5.3.10	SUBCUENCA DEL RIO MOJAFLORES ..	140
3.5.3.11	SUBCUENCA DEL RIO SUCIO	141
3.5.3.12	SUBCUENCA DEL RIO OSTUA	142
3.5.3.13	SUBCUENCA DEL RIO CUAMAPA	143
3.5.3.14	SUBCUENCA DEL RIO ANGUE	144
3.5.3.15	SUBCUENCA DEL RIO SOYATE	145
3.5.3.16	SUBCUENCA DEL VALLE DE LEMPA ..	146
3.5.4	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACION - DE LA MUSLE EN LAS SUBCUENCAS DE LOS - PRINCIPALES RIOS AFLUENTES AL EMBALSE - DEL CERRON GRANDE	147
3.6	TOLERANCIAS EN LA PERDIDA DE SUELO	148
CAPITULO IV.		
CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO DEPOSITADO		
	EN EL EMBALSE	150
4.0	INTRODUCCION	150
4.1	GENERALIDADES	151
4.2	PROCESO DE SEDIMENTACION	152
4.2.1	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	154

4.2.1.1 FORMAS DE TRANSPORTE	156
4.2.1.2 PRINCIPALES METODOS DE MEDICION	158
4.2.1.3 PRINCIPALES METODOS DE PRE - DICCION	171
4.2.2 PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL PROCE- SO DE DEPOSICION DE SEDIMENTOS	181
4.2.3 DEPOSICION DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE.	182
4.3 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE	185
4.3.1 CARACTERISTICAS DEL RIO LEMPA	187
4.4 METODOS PARA EVALUAR LA SEDIMENTACIONEN RE- SERVORIOS	189
4.5 CALCULO DEL SEDIMENTO DEPOSITADO EN EL EMBAL- SE DEL CERRON GRANDE	201
4.5.1 METODO BATIMETRICO	201
4.5.2 METODO ESTADISTICO PARA SOLIDOS TOTALES	205
4.6 EFECTOS POR LA PERDIDA DE CAPACIDAD DEL EM- BALSE DEL CERRON GRANDE	207
4.6.1 DISMINUCION EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA	207
4.6.1.1 PERDIDAS ECONOMICAS POR LA DIS- MINUCION DE LA PRODUCCION DE -- ENERGIA ELECTRICA	210
4.6.2 ACORTAMIENTO DE LA VIDA UTIL DE LA PRE- SA	211

C A P I T U L O V	
PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA	212
5.0 INTRODUCCION	212
5.1 GENERALIADDES	213
5.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCION	214
5.2.1 CONTROL DE TORRENTES Y ESCORRENTIA SU - PERFICIAL (CONSTRUCCION DE DIQUES) ...	214
5.2.1.1 ANALISIS TECNICO	222
5.2.1.2 ANALISIS ECONOMICO	234
5.2.1.3 ANALISIS FINANCIERO	237
5.2.2 DRAGADO DEL EMBALSE	239
5.2.2.1 ANALISIS TECNICO	240
5.2.2.2 ANALISIS ECONOMICO	243
5.2.3 MANEJO DE LA CUENCA (REFORESTACION) ...	245
5.2.3.1 ANALISIS TECNICO	249
5.2.3.2 ANALISIS ECONOMICO	259
5.2.3.3 ANALISIS FINANCIERO	265
C A P I T U L O VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	267
6.0 CONCLUSIONES	267
6.1 RECOMENDACIONES	270
C A P I T U L O VII	
BIBLIOGRAFIA	272
RESUMEN	275
ANEXOS (FIGURAS Y CUADROS)	280

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

1.0 GENERALIDADES

En esta parte del trabajo se da información sobre las causas que han provocado la degradación de los recursos naturales en nuestro país, lo cual ha ocasionado un desgaste progresivo del suelo y la existencia de un masivo aporte de sedimentos a los embalses ubicados en la cuenca del Rio Lempa la de mayor capacidad de producción de energía eléctrica en nuestro medio , con especial interés al embalse del Cerrón Grande, por ser objeto de nuestro estudio.

Se define la zona de estudio, ubicándola primeramente en el Istmo Centroamericano y luego a nivel Nacional, tomándose como criterio la determinación de un área que aporte sedimentos al embalse del Cerrón Grande, la cual logicamente forma parte de la cuenca del Río Lempa.

Como objetivo específico, se evalúa la cantidad de sedimento que posee actualmente el mencionado embalse, objetivo previamente justificado mediante un breve análisis del problema energético que a menudo degenera en situaciones de crisis que afectan directamente la economía nacional.

Finalmente se presentan los alcances y limitaciones, tomando en cuenta los recursos con que se cuenta y la poca

información hidrológica existente, ésto último como una consecuencia directa del conflicto armado que por doce años castigó a nuestra nación.

El aumento de la población en países subdesarrollados ha crecido grandemente, El Salvador no es la excepción, ya que es considerado un país en vías de desarrollo, ésto trae como consecuencia el incremento en las necesidades de sus habitantes, ocasionando un uso indiscriminado de los recursos naturales con los que se cuenta.

La explotación de los recursos naturales en El Salvador se remonta desde la colonización española, se dice, que antes de la llegada de los españoles a éste país, existía un 60 por ciento o más de área boscosa, la cual fué reduciéndose poco a poco debido a la tala indiscriminada de árboles, con el fin de ocupar leña para usos domésticos, industriales y la explotación de minas.

A medida que ha pasado el tiempo, el aumento poblacional ha creado una fuerte presión sobre el recurso suelo, en donde el pequeño agricultor, por razones socio-económicas, ha utilizado áreas marginales para el cultivo de granos básicos, áreas de vital importancia para el desarrollo hidrológico de las cuencas de nuestro país. Esta situación, relacionada con el uso inadecuado del suelo, genera constantemente la degradación de los recursos

naturales renovables, siendo la erosión uno de los más graves problemas en la agricultura y que se está produciendo en las áreas de aporte de sedimentos a los embalses de las centrales hidroeléctricas.

En nuestro país las presas hidroeléctricas representan una de las principales fuentes de generación de energía con la que contamos, por lo que el acelerado deterioro de la cuenca trae como consecuencia un aumento en la acumulación de sedimentos en los embalses de dichas infraestructuras y por consiguiente una considerable disminución en el volumen útil para la generación de energía eléctrica, lo que se traduce en fuertes pérdidas para la economía nacional.

LOCALIZACION Y UBICACION DEL AREA EN ESTUDIO

El Salvador es el país más pequeño y con los recursos naturales más escasos de la región Centroamericana y se encuentra ubicado entre los paralelos $13^{\circ} 17'$ y $14^{\circ} 28'$ y los meridianos $87^{\circ} 40'$ y $90^{\circ} 05'$. Limita al Norte y al Este con la República de Honduras, al Oeste con la República de Guatemala y al Sur con el Océano Pacífico.

La cuenca hidrográfica del río Iempa está ubicada geográficamente entre los meridianos $90^{\circ} 09'$ y $87^{\circ} 40'$ y los paralelos $14^{\circ} 41'$ y $13^{\circ} 15'$ (ver figuras No. 1 Y No. 2), ésta fue analizada y estudiada a solicitud del gobierno de.

la República de El Salvador, con el apoyo del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, a través del plan Maestro de Desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos; en donde para esos fines fue dividida en tres subcuencas: cuenca alta, media y baja. (ver figura No.3)

La cuenca alta tiene una superficie de 7342.9 Km² y abarca los Departamentos de San Salvador, La Libertad, Santa Ana y Chalatenango en la República de El Salvador; Jutiapa y Chiquimula en la República de Guatemala y Ocotepeque en Honduras. La ubicación geográfica está dada por los meridianos 90° 09' y 89° 11' y los paralelos 14° 41' y 13° 39'.

Las principales ciudades comprendidas en esta área son San Salvador, Santa Ana, Nueva San Salvador (Santa Tecla) Metapán, Candelaria de La Frontera, Citalá, Nueva Concepción, La Palma y San Ignacio en la República de El Salvador; Esquipulas, Jutiapa, Agua Blanca, Limón y Progreso en la República de Guatemala y Nueva Ocotepeque en Honduras.

La cuenca media tiene una superficie de 9268 Km² ubicándose geográficamente entre los meridianos 89° 11' y 87° 46' y los paralelos 14° 33' y 13° 40', incluye los Departamentos de Chalatenango, Cabañas, San Miguel, Morazán y Cuscatlán en la República de El Salvador; Lempira, La Paz, Intipucá y Ocotepeque en la República de Honduras; las

principales ciudades comprendidas en esta área son: Chalatenango, Sensuntepeque, Cojutepeque, Sesori, en la República de El Salvador y Valladolid en la República de Honduras. Para completar el área que conforma la cuenca del Río Lempa, se definió finalmente la cuenca baja, que tiene una superficie de 1629.1 Km², ubicándose geográficamente entre los meridianos 88° 51' y 88° 13' y los paralelos 13° 40' y 13° 15' localizándose en los departamentos de San Vicente, Usulután y San Miguel en la República de El Salvador; las principales ciudades incluidas en esta área son: San Vicente y San Miguel .

De toda la cuenca solo se analizará el área que contiene ríos afluentes al Lempa y que contribuyen con sedimentos al embalse del Cerrón Grande, estará acotada al Norte, al Poniente y al Sur por el límite de la región hidrográfica del Río Lempa y al oriente por un parteaguas que pasa sobre la cresta de la presa de la central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, definiéndose así la cuenca del embalse objeto del presente estudio y que está acotada geográficamente entre los meridianos 90° 09' y 88° 51' y los paralelos 14° 41' y 13° 41' (ver figura No.4), con una extensión total de 8485 Km² de los cuales el 87 por ciento corresponde a la cuenca alta y el 13 por ciento a la cuenca media, para definir esta área se partió del objetivo principal, que es la evaluación del sedimento en el embalse antes mencionado.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todo reservorio natural o artificial (embalse), está sujeto a un proceso de sedimentación natural. Es importante entonces estimar la tasa y el patrón de deposición, así como el tiempo antes de que el sedimento interfiera con la función para la cual fue diseñado el reservorio.

La sedimentación de embalses es un proceso muy complejo debido a la influencia de muchos factores, por lo tanto no se puede aislar considerando exclusivamente el reservorio en sí; el análisis debe ser integral y para ello es necesario tener en cuenta el concepto de cuenca hidrográfica como sistema.

La sedimentación es un fenómeno natural complejo que comprende los procesos de erosión, arrastre, transporte, deposición y compactación de materiales de diferentes dimensiones.

Las presas hidroeléctricas de nuestro país representan una de las principales fuentes de generación de energía con la que contamos, por lo que la acelerada acumulación de sedimentos en los embalses de dichas infraestructuras, trae como consecuencia la disminución de la vida útil para la cual fueron diseñadas, además el deterioro del medio ambiente en nuestro entorno, causado principalmente por la

mano del hombre, es uno de los factores principales y de mayor peso que facilitan el arrastre y transporte de sedimentos en estas áreas.

La disminución de la cobertura vegetal en el área de la cuenca del Cerrón Grande y la consecuente expansión de áreas erosivas en esta zona, es un hecho comprobado, lo cual se ha puesto de manifiesto con la crisis de nivel de embalse para la generación hidroeléctrica sufrida en los últimos años y prevista para próximos, debido a la incesantemente variación climatológica acaecida en esta región. Para El Salvador, este panorama y su actual tendencia a empeorar, significa un fuerte riesgo.

Un ejemplo visible de los efectos que causa la producción de sedimentos en la cuenca del Río Lempa, según datos proporcionados por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), es el embalse de la Central hidroeléctrica 5 de Noviembre, el cual fue diseñado para una vida útil de 100 años y contaba originalmente con un volumen total de almacenamiento de 87 millones de metros cúbicos, de los cuales 74 millones eran de volumen útil y 13 millones de volumen muerto y de acuerdo a estimaciones realizadas por métodos batimétricos durante el período 1956-1979, este embalse sufrió un azolvamiento de 20 millones de metros cúbicos. Como puede observarse en un lapso de 25 años, perdió aproximadamente el 30 por ciento del volumen

disponible para la generación de energía eléctrica, lo cual indica que de seguir esa tendencia, este embalse perderá su capacidad total de almacenamiento en un tiempo menor para el cual fue diseñado

Sin embargo, desde 1979 hasta la fecha no se han realizado más mediciones de la sedimentación en este embalse, debido principalmente al conflicto armado que vivió nuestro país a partir de 1980, pero de acuerdo a inspecciones aéreas realizadas recientemente por técnicos de CEL, se estima que ha perdido aproximadamente el 80 por ciento del volumen útil destinado para la generación de energía eléctrica.

Actualmente la preocupación se cierne sobre el embalse de la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, ya que está ubicado aguas arriba del embalse de 5 de Noviembre, convirtiéndose así en la trampa del sedimento que años atrás azolvó a esta última.

El problema del sedimento, específicamente del embalse del Cerrón Grande, principalmente por la importancia que el proyecto hidroeléctrico tiene, ya sea por su capacidad de generación o por su gran volumen de almacenamiento, volumen que actualmente se ve amenazado por la incesante acumulación de sedimento en su reservorio, será el principal objeto de estudio del presente trabajo de Graduación.

1.2 JUSTIFICACION

La importancia de los proyectos hidroeléctricos en El Salvador, se ha hecho sentir principalmente, durante las crisis energéticas de los últimos años, crisis debidas a inviernos con bajas precipitaciones, unido ésto a la disminución de la capacidad de almacenamiento que últimamente están experimentado los embalses, como consecuencia del acelerado proceso de sedimentación que se dá en ellos.

De continuar la situación igual, de no conocerse la tasa de sedimentación y de no predecir con cierta exactitud cuando finalizará la vida útil de los embalses, con interés especial en Cerrón Grande, se estaría atentando contra la estabilidad y buen funcionamiento de la infraestructura de las presas, sin tomar en cuenta el alto costo de la generación de energía por medio de las Centrales Térmicas, a las cuales se tendría que recurrir para compensar una eventualidad, como el cierre de una Central Hidroeléctrica. Por consiguiente se hace urgente realizar un estudio que estime la cuantificación de esa sedimentación en el embalse del Cerrón Grande, por ser el más importante a nivel nacional, y aportar las posibles soluciones para mantener o evitar que se reduzca drásticamente la vida útil del reservorio mencionado.

Este trabajo de graduación pretende aportar alternativas de solución a la problemática de la sedimentación del embalse del proyecto hidroeléctrico del Cerrón Grande, estudiando primero las causas de su acelerado azolvamiento, para luego analizar los efectos adversos que éstos producen, tanto en la infraestructura de la presa, como en el reservorio mismo; también cuantificará el volumen del sedimento que actualmente se encuentra depositado en el embalse mencionado.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

Este trabajo de graduación pretende dar a conocer la problemática que representa la sedimentación del embalse de la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, su desarrollo, efectos y consecuencias; además de aportar información que sirva para futuros estudios que se encuentren relacionados con la sedimentación de embalses en nuestro país. De el estudio realizado se propondrán alternativas de solución al problema causado por el transporte y deposición de sedimentos en el embalse del Cerrón Grande.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

-Realizar un estudio de las causas que producen el transporte y la posterior acumulación del sedimento en el embalse del proyecto hidroeléctrico del Cerrón Grande.

-Determinar las características físicas del sedimento que se encuentra depositado en el embalse del Cerrón Grande.

-Hacer un cálculo aproximado del volumen de sedimento que se encuentra retenido en el embalse del Cerrón Grande.

-Proponer una alternativa de solución que pueda conservar la vida útil del embalse, evitando así una drástica disminución de la misma.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.

El presente trabajo se basará en el análisis y estudio de las diferentes subcuencas que aportan sedimentos hacia el embalse del Cerrón Grande, a través de este estudio se propondrá una alternativa de solución, que de ponerse en práctica, minimizará el arrastre de sedimentos hacia el embalse mencionado, permitiendo que este cumpla con una buena parte de la vida útil para la cual fue diseñado.

ALCANCES.

-Hacer un análisis del potencial de aporte de sedimentos de las principales subcuencas de los ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande.

-Determinar los efectos causados por la deposición de sedimentos en el embalse del Cerrón Grande.

-Estimar un volumen aproximado del sedimento que actualmente ocupa gran parte del volumen útil del embalse del Cerrón Grande.

-Evaluar una alternativa de solución para tratar de minimizar el problema del arrastre de sedimentos y su posterior deposición en el embalse del Cerrón Grande.

LIMITACIONES.

-El estudio a realizar se limitará a estimar el aporte de sedimentos , en forma de pérdida de suelo, de la cuenca media-alta del Río Lempa, área en estudio del embalse del Cerrón Grande.

-El análisis del volumen del sedimento transportado se limitará a un estudio teórico de los métodos matemáticos más conocidos :

a) Para la estimación del aporte de sedimento de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande:

a.1) Arrastre de sedimento suspendido.

-Curva de descarga de sedimentos.

a.2) Arrastre del sedimento por el fondo del río:

-Fórmula de Meyer-Peter-Muller.

-Fórmula de Einstein-Brown.

-Fórmula de Shields.

b) Para calcular el sedimento acumulado en el fondo del embalse.

b.1) Comparación entre secciones transversales del embalse, levantadas originalmente por altimetría y posteriormente por métodos Batimétricos.

b.2) Método estadístico de correlación de datos.

- La recolección de datos estará supeditada a la información hidrológica disponible, por lo que se espera que los resultados que se obtengan a lo largo del estudio,

posean un margen de error, sin embargo se tratará de minimizarlo en lo posible.

C A P I T U L O I I

CARACTERISTICAS FISICAS E HIDROLOGICAS DE LA CUENCA

2.0 INTRODUCCION

En este capítulo se describen las características físicas más relevantes del área objeto de estudio del presente trabajo de graduación; dicha área representa la cuenca hidrográfica del embalse del cerrón grande , la cual fué delimitada en el capítulo anterior con el criterio de tomar en cuenta todos los ríos afluentes al Río Lempa, que contribuyen con sedimentos al reservorio antes mencionado.

También se presentan las características hidrológicas más relevantes del área en estudio, así como también un análisis de las precipitaciones y la escorrentia en las estaciones más importantes ubicadas dentro de la cuenca del embalse del Cerrón Grande.

Luego se hará una correlación de caudales entre las estaciones hidrométricas Paso del Oso y Poza del Silencio, ésto con el fin de hacer un cálculo preliminar del volumen del sedimento que a la fecha hubiera pasado por el sitio de Poza del Silencio (sitio aproximado de la construcción de la cortina de la presa del Proyecto Cerrón Grande) de no haber sido inundado éste por el embalse del Cerrón Grande, posteriormente se construirá un gráfico que relacione el

caudal líquido con el caudal sólido , permitiendo esto , conocer la cantidad de sedimento en suspensión que entró al embalse en el período 1976-1992; comparandose posteriormente con el dato que se obtenga en la evaluación de la ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) que se aplicará al área en estudio en el capítulo IV.

Como primer paso se hará un resumen histórico a manera de antecedente para conocer más a fondo las condiciones que se dieron para la creación y diseño de la presa y embalse del proyecto hidroeléctrico del Cerrón Grande.

2.1 ANTECEDENTES

El proyecto hidroeléctrico del Cerrón Grande fué ejecutado por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), entidad creada en Octubre de 1945 por decreto Ejecutivo y convertida en Institución Autónoma de servicio público en 1948 mediante decreto Legislativo y es a quien concierne la utilización de los recursos hídricos con fines de generación de energía eléctrica en El Salvador.

En 1947 y a escasos dos años despues de haber sido creada, CEL encomendó a Harza Engineering Co. un estudio preliminar tendiente a seleccionar el sitio más viable en el Río Lempa para desarrollar un proyecto hidroeléctrico. Dos

alternativas fueron presentadas en este estudio: La Poza del Silencio y La Chorrera del Guayabo.

Se concluyó seleccionando como más atractivo el sitio de la Chorrera del Guayabo por la poca demanda de energía que había en esa fecha y porque la inversión inicial era menor. Por todo esto se continuó con los estudios hasta llegar a la construcción de la presa 5 de Noviembre, inaugurándose en 1954 con una capacidad inicial de 30 MW y ampliada en 3 etapas hasta alcanzar en 1965 un total de 82 MW.

Como obra complementaria se construyó en 1963 la presa del Guajoyo con 15 MW de capacidad instalada y con un embalse de 450 millones de metros cúbicos y que sirve como tal a la planta 5 de Noviembre.

Para satisfacer la demanda de energía del país, que se incrementaba en 11 por ciento anual, CEL recurrió al uso de plantas térmicas a base de combustibles fósiles, por su menor costo de kilovatio instalado y fué así como en 1969 se construyó la Termoeléctrica de Acajutla y las turbinas de Gas de Soyapango en 1973. En esta fecha los porcentajes de fuentes de energía eran 43 por ciento Hidro y 57 por ciento combustible.

Como consecuencia del aumento que cada día iba experimentando el precio del combustible, CEL decidió renovar sus esfuerzos para desarrollar el proyecto de la Poza del Silencio, sitio que a la postre tuvo que abandonarse seleccionandose el del Cerrón Grande , pues las fundaciones ofrecían mejores ventajas que el sitio original y por que se inundaba menos tierra fértil.

En Marzo de 1972 se concluyó el estudio de factibilidad, iniciandose las negociaciones con Instituciones Crediticias Internacionales para obtener el financiamiento de las obras.

Este estudio recomendaba la ejecución a corto plazo de trabajos preliminares (tunel de desvío, caminos de acceso, campamento de operadores) si se quería iniciar la operación en 1977.

La presa del Cerrón Grande esta emplazada en el Río Lempa, al inicio del embalse de la Central 5 de Noviembre, aproximadamente a 20 Kms. aguas arriba de la misma y su posición geográfica es de $13^{\circ} 56' 20''$ Latitud Norte y $88^{\circ} 54' 19''$ Longitud Oeste.

Al nivel máximo de servicio, que es la elevación 243 m.s.n.m., forma un lago de 135 Km², contando con un embalse

útil de 1430 millones de M3. y un embalse no utilizable (volumen muerto) de 750 millones de M3.

El proyecto incluye:

- I) Una presa de tierra tipo "relleno por zonas", con un núcleo de material impermeable. La longitud sobre la cresta es de 800 m. y una altura máxima de 90 m.
- II) Un túnel de desvío de 175 m. de longitud y 8 m. de diámetro que sirvió para el manejo y control de las aguas durante la época de construcción.
- III) Un vertedero de concreto localizado en la margen izquierda del río, con cuatro compuertas radiales que permiten evacuar 6500 M3/Seg. a la elevación máxima de servicio.
- IV) Cuatro Boca-tomas de concreto una para cada unidad generadora, de las cuales dos fueron completadas y el resto con las provisiones necesarias para el futuro.
- V) Cuatro túneles, de 7 m. de diámetro y longitud promedio de 120 m., con revestimiento de acero los últimos 25 m., los cuales forman parte de la tubería forzada y el resto de los túneles será revestido con concreto reforzado.

De estos cuatro, dos quedaron terminados, el tercero se excavó y fué revestido completamente de concreto y el cuarto solamente se excavaron 13 m. al inicio para dar cabida a la respectiva boca-toma. Este será excavado hasta que la demanda lo exija.

VI) Dos tuberías forzadas de acero con un desarrollo de su longitud en el eje de 89.57 m. y tres diámetros diferentes en su longitud que va desde 7.0 m. al inicio hasta 5.0 m. al entrar en la caja espiral.

VII) Casa de máquina que incluye nave de montaje para cuatro unidades generadoras, de las cuales dos unidades comenzaron a generar en 1977.

VIII) Una subestación ubicada en la margen derecha del río.

IX) Dos nuevas líneas de transmisión interconectando al sistema CEL. Una de ellas es de doble circuito de 115 KV. y conecta Cerrón Grande con Nejapa. La otra ya construida de un solo circuito de 115 KV. que vá del Cerrón Grande a la subestación de 5 de Noviembre.

X) Campamento para operadores.

XI) Sistema supervisorio para la central de fuerza y subestación del Cerrón Grande.

Paralelo a la construcción del proyecto, otras obras se ejecutaron con el objeto de resolver los problemas que se crearon en la formación del embalse:

a) Reubicación de 17 Km. de la carretera hacia la ciudad de Chalatenango.

b) Construcción de dos nuevos puentes sobre los ríos Acelhuate y Lempa de los respectivos cruces con la carretera Troncal del Norte.

c) Reubicación y asentamiento de por lo menos 1000 familias que actualmente viven en el área del embalse.

TABLA DE DATOS SIGNIFICATIVOS [1]
--

EMBALSE

Area de drenaje	8485	Km2
Area de embalse	135	Km2

[1] Osorio Gómez, Alvarino, "El Proyecto Cerrón Grande y su Ejecución", Tercer Congreso Nacional de Ingeniería, 1980.

ELEVACIONES

Elevación mínima de operación	228	m.s.n.m.
Máxima elevación de servicio	243	m.s.n.m.
Elevación de descarga para máxima avenida	249	m.s.n.m.

VOLUMEN

Volumen a la máxima elevación de servicio	2,180,000,000	m3.
Volumen útil	1,430,000,000	m3.
Volumen no utilizable	750,000,000	m3.

PRESA

Tipo	De tierra
Altura desde la fundación más profunda	90 m.
Altura sobre el lecho original del río	70 m.

DIMENSIONES

Longitud sobre línea central de la cresta ...	805	m.
Ancho máximo de la base	400	m.
Ancho de la cresta	10	m.
Volumen de excavación	1,180,000	m3.
Volumen total de relleno	6,500,000	m3.

VERTEDERO

Tipo Ojiva con canales deslizantes y disipador de energía en forma de salto de sky.

Elevación de la cresta (Temporal)	220 m.
Elevación de la cresta final	228 m.

COMPUERTAS

No.	4 u.
Tipo	Radiales
Dimensiones	12.2 m.ancho x 15.0 m.alto
Malacates	individuales e hidráulicos
Capacidad a la elevación 243	6500 m3/seg.
Capacidad a la elevación 249.4	11000 m3/seg.
Volumen de concreto	60000 m3.

GENERACION

Carga neta máxima	64 m.
Carga neta mínima	42 m.
Carga neta promedio	58 m.
Capacidad instalada inicial	135 MW
No. de unidades generadoras (inicial)	2 u.
Máxima generación con carga mínima	100 MW

2.2 GENERALIDADES.

Para el propósito del presente estudio será necesario profundizar en la información que se pueda obtener de la cuenca hidrográfica del Río Lempa, específicamente en el área delimitada en el capítulo I , en donde se determinó que

comprendería la cuenca alta en su totalidad y una pequeña parte de la cuenca media de la referida cuenca hidrográfica, ya que ambas áreas contribuyen en el aporte de sedimentos al embalse del Cerrón Grande.

Esta información consistirá en un resumen de las características más importantes de la zona en estudio, tales como : Morfología, Geomorfología, geología, tipos de suelo, clima y vegetación, etc. , todos los anteriores con el fin de tener una idea bien definida del potencial de producción de sedimentos que tiene el área en estudio.

También se investigarán las características climatológicas de la zona, con el fin de analizar los parámetros hidrometeorológicos que tengan más incidencia en la pérdida del suelo y su posterior arrastre , tales como la precipitación y la intensidad de la lluvia, parámetros que serán analizados y comentados.

Posteriormente se hará un análisis de los caudales mensuales de los principales ríos, con el fin de obtener la escorrentía superficial media mensual y máxima instantánea que se da en el área.

Finalmente se hará un análisis estadístico de los caudales de las estaciones hidrométricas Paso del Oso y Poza del Silencio, para después construir un gráfico que nos

permita relacionar el caudal líquido con el caudal sólido para tener una idea aproximada del sedimento depositado en el embalse.

2.3 CARACTERISTICAS RELEVANTES DE LA CUENCA (AREA EN ESTUDIO).

2.3.1 MORFOLOGIA DE LA CUENCA DEL EMBALSE.

Area total de la cuenca	8,485.0	Km2
Area en el territorio Salvadoreño	5,360.1	Km2
Area internacional	3,124.9	Km2
Perímetro de la cuenca del embalse	595.0	Km
Elevación Máxima	2,730	m.s.n.m.
Elevaciones Mínimas	228-243	m.s.n.m.
Tipo de drenaje		Dendrítico
Longitud del cauce principal	140 Kms.	(Colima)
	± 175 Kms.	(punto de control)

Como se planteó inicialmente, el área en estudio (cuenca del embalse del Cerrón Grande) estará delimitada al Norte , al Poniente y al Sur por el límite de la región hidrográfica del río Lempa y al Oriente por un parteaguas que pasa sobre la cresta de la presa del Cerrón Grande (ver figura No 4).

2.3.2 GEOMORFOLOGIA

Hasta mediados de los años 50 los estudios geomorfológicos se usaban con frecuencia como complemento a los estudios geológicos.

Hoy en día la geomorfología conjuntamente con el estudio de otras disciplinas es de gran importancia para los geólogos, en algunas casos específicos, la interpretación geomorfológica de ciertas formas del paisaje pueden indicar la evidencia de movimientos tectónicos. Pero no solo el caso anterior resulta de utilidad para el ingeniero, sino en especial, el estudio de los procesos que comprenden la geomorfología. Tal es el caso de los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos.

Aquí el interés es compartido con otras disciplinas y con frecuencia es el geomorfólogo el que sigue las técnicas y métodos de éstas para presentar resultados que más tarde serán utilizados por los ingenieros para resolver problemas concretos, como el control y predicción de desastres naturales o valorizar posibles situaciones futuras.

Los estudios geomorfológicos son indispensables en la identificación del uso de suelos, en la planeación de manejo de cuencas, etc. en síntesis en cualquier tipo de programa

de desarrollo donde se desee una relación armoniosa entre el hombre y su ambiente [2].

El área en estudio contiene las siguientes sub-cuencas de los ríos afluentes al Lempa:

- Sucio
- Acelhuate
- Angue
- San José (Laguna de Metapán)
- Tahuilapa
- San Juan (Pomola)
- Ostúa
- Taxis
- Mojaflores - Salitre
- Metayate
- Agua Zarca
- Nunuapa
- Río Sucio
- Grande de Chalatenango
- Tamulasco
- Quezalapa
- Guajoyo

[2] CIDIAT, "Hidráulica Fluvial y Transporte de Sedimentos", IX Curso Regional Itinerante (CRICA - 88), 1988.

Además las cuencas hidrográficas de :

- Lago de Coatepeque
- Lago de Güija

Y las siguientes unidades geomorfológicas:

- Volcán de San Salvador
- Volcán de Guazapa
- Cerro de Tecomatepec
- Lago de Coatepeque
- Valle de Zapotitán
- Llanura a ambos lados del Río Sucio
- Meseta de Atiquizaya
- Valle del Río Lempa
- Macizo de Montecristo
- Montañas de Esesmiles
- Región del Lago de Güija
- Valle del Río Lempa
- Volcán El Chingo
- Meseta de Candelaria
- Montañas al pie de Jutiapa-Progreso
- Montañas de Chalatenango
- Montañas Occidentales de Cabañas
- Etribaciones de las montañas de Chalatenango
- Hondonada de Titihuapa

(Ver fig. No.5)

- VOLCAN DE SAN SALVADOR : llamado también Quezaltepeque, forma parte de la cadena volcánica meridional que son volcanes jóvenes, bien desarrollados, el volcán posee dos cimas importantes: El Boquerón, con una elevación de 1893.39 m.s.n.m. y El Picacho con aproximadamente 1960 m.s.n.m.

- VOLCAN DE GUAZAPA : situado a 10.5 km. al Sur-Oeste de la ciudad de Suchitoto y a 40 km. de San Salvador, con una elevación de 1438 m.s.n.m. conocido también como cerro de Guazapa. Se levanta aislado con pendiente suave en principio sobre la llanura base. El cerro está cortado por la erosión , levántandose sus cúspides en forma de varios picos sobre el pié macizo.

- CERRO DE TECOMATEPEC: ubicado al Sur-Este de Guazapa con un elevación de 1011 m.s.n.m., es un cerro casi en las mismas condiciones de degradación que el cerro de Guazapa, se le puede considerar como una prolongación de éste.

- LAGO DE COATEPEQUE : situado al Sur de Santa Ana, su cuenca vertiente tiene como límites la población de ciudad Arce, El Congo y parte de la antigua carretera a Santa Ana.

- VALLE DE ZAPOTITAN : ubicado al Sur de Santa Ana y al pié de la caldera de Coatepeque, este valle no es más que un vestigio de la extensa área de hundimiento que anteriormente .

atravesaba el país en forma longitudinal, siendo parte de ella los lagos de Olomega e Ilopango.

- **LLANURA A AMBOS LADOS DEL RIO SUCIO:** basta extensión plana a ambos lados del río Sucio que se extiende al Norte del volcán de San Salvador hacia el valle superior del río Lempa, hacia la meseta de Atiquizaya en el Oeste y hacia el volcán de Guazapa en el Este.

- **MESETA DE ATQUIZAYA:** la mayor parte de esta meseta se encuentra fuera del área en estudio, la parte comprendida dentro se circunscribe a los alrededores de la ciudad de Santa Ana.

- **VALLE DEL RIO LEMPA:** extensa región atrapada entre las montañas del Norte (Esesmiles) y una pequeña cordillera al Sur, constituida por los cerros de Guazapa, Chamul, Zacamil, Camones y El Nispero.

El valle se estrecha bastante en la margen Sur del río Lempa, confundiéndose incluso con las márgenes de éste y se amplía en la zona Norte, en donde constituye una zona cultivable bastante buena.

- **MACIZO DE MONTECRISTO:** formado por un grupo de cerros que conforman parte de las cordilleras Alotepeque, Metapán, frontera con Honduras. Entre ellos se encuentran el

Montecristo (2418 m.s.n.m.), Los Cántaros, El Brujo (2139.70 m.s.n.m.), El Shiste (811.90 m.s.n.m.), Redondo, El Picacho, Las Cruces, Cerro Oscuro, con alturas descendentes hacia el Oeste. El macizo es una estribación de las montañas de Chiquimulilla, que forma parte de la Sierra Madre Guatemalteca, el macizo desciende muy bruscamente hacia el río Lempa, lo mismo que hacia la región del Lago de Güija, en forma de crestas relativamente cortas y empinadas.

- **MONTAÑAS DE ESESMILES:** no es más que la prolongación del macizo de Montecristo y forma , como el anterior, parte de la cordillera Alotepeque-Metapán, en ella se encuentra la mayor elevación existente en El Salvador, el Cerro del Pital con 2730 m.s.n.m., que se proyecta como parte de la zona montañosa de Honduras, la montaña tiene una orientación Sur-Este, prolongandose con las montañas de Chalatenango. Dentro de la elevaciones más importantes se encuentran los cerros El Burro, Las Nubes, El Murrano, Miramundo y Malcotal (2302.45 m.s.n.m.).

- **VALLE DEL LEMPA EN LAS MONTAÑAS SEPTENTRIONALES:** debido al descenso brusco, tanto de las montañas de Montecristo como de las Esesmiles, se ha formado una pequeña llanura entre ambas , de aproximadamente un kilómetro de ancho que permite el paso al Río Lempa.

- **VOLCAN EL CHINGO:** es un cono volcánico con una elevación de 1777.4 m.s.n.m. al Oeste de la frontera con Guatemala, rodeado por una superficie predominantemente llana a ligeramente ondulada, en donde se dá inicio al pequeño valle de Singüil, el río Cusmapa, éste se puede considerar como un volcán esbelto y de formación reciente, con una vegetación bastante buena.

- **REGION VOLCANICA AL SUR-ESTE DE EL CHINGO:** formada por una serie de pequeñas elevaciones que oscilan entre los 600 a 900 m.s.n.m., rodeadas por una superficie predominantemente llana a ligeramente ondulada en donde se da inicio al pequeño valle de Singüil, las elevaciones más importantes son: los cerros El Quemado, El Senca, Los Urrutías y otros.

- **MESETA DE CANDELARIA:** son terrenos que van ondulados a ligeramente planos en algunos sectores , con problemas serios de drenaje, más que todo por el tipo de suelo que lo forman. Dentro de esta zona se considera el pequeño valle del Sigüil y parte de la planada del río Guajoyo (San Francisco) que se extiende al territorio Guatemalteco, formando parte del pié de montaña de las áreas planas de Asunción Mita- Atescatempa-Ostúa, en donde los problemas de inundación y drenaje son continuos y casi permanentes durante la estación húmeda.

- **CADENA MONTAÑOSA AL PIE DE JUTIAPA-PROGRESO:** formada por las estribaciones de las montañas de Chiquimulitas que forman parte de la Sierra Madre Guatemalteca presentando una serie de pequeños cerros entre los que se cuentan El Cilindro, El Tecomate y el Alto con elevaciones que oscilan entre los 1200 a 1800 m.s.n.m.

- **ESTRIBACIONES DE LA MONTAÑA DE ESESMILES:** esta unidad está formada por una serie de pequeños cerros que se desprenden de la montaña y que forman una zona con una fisiografía que va de ondulada a montañosa. Entre los principales cerros se cuentan: El Peñon, El Corral, El Falso, Masahuat, El Capullo, El Pacho, Agua Helada, Visión, La Gloria, La Vibora, La Danta, Calambre, Roblarcito, Mano de Piedra, y otros. Sus elevaciones están comprendidas entre los 600 y 1100 m.s.n.m.; su ubicación no sigue ningún orden que permita clasificarlos o calificarlos como una cordillera o montaña.

- **VALLE DEL RIO LEMPA AL SUR DE LA SUBREGION:** se inicia cerca del Cantón el Gavilán, proyectándose con dirección de Poniente a Oriente y ampliándose hacia el Norte a medida que se acerca al embalse del Cerrón Grande.

- **MONTAÑAS DE CHALATENANGO:** es considerada la parte final de la cordillera de Alotepeque - Metapán, solo una

pequeña parte de estas montañas está comprendida en el área en estudio, la cual es la parte Sur-Este de éstas .

- **ESTRIBACIONES DE LAS MONTAÑAS DE CHALATENANGO:** son una serie de elevaciones al pié de las montañas de Chalatenengo, hasta los márgenes del río Lempa, las cuales tienen una orientación casi paralela a las montañas con elevaciones entre 500 y 1200 m.s.n.m.

La parte de esta estribación dentro del área en estudio, es casi la parte media ubicada al Este del embalse del Cerrón Grande.

-**MONTAÑAS OCCIDENTALES DE CABAÑAS:** es un grupo de elevaciones ubicadas al occidente del río Copinolapa y localizada en el departamento de Cabañas, exactamente está ubicada en el área comprendida por Cinquera, Tejutepeque, Ilobasco y El Río Lempa, formadas por las elevaciones de los Cerros El Motín (620 m.s.n.m.), Tanijera (575 m.s.n.m.), Mapitera (923 m.s.n.m.) y otros cerros con elevaciones entre 921 y 620 m.s.n.m. Estos cerros forman el parteaguas de las cuencas Quezalapa, El Copinolapa y la propia cuenca del Río Lempa. La cuenca del río Quezalapa se encuentra en el área en estudio de este trabajo de graduación.

- VALLE SUPERIOR DEL RIO LEMPA: son pequeñas superficies que actualmente se encuentran fuera de la zona inundada del embalse del Cerrón Grande.

- HONDONADA DEL TITIHUAPA: son una serie de conos y pequeños valles atrapados entre el escalón cortado de Cojutepeque y las montañas de Cabañas, forma parte de la llamada meseta central.

En el área en estudio de este trabajo solo se encuentra una 3ra. parte de toda el área de esta formación, la cual es la ubicada al occidente del río Titihuapa.

2.3.3. GEOLOGIA

A finales del mioceno se produce un fallamiento regional en Centro América con dirección general Este-Oeste, que origina la depresión de Nicaragua y que atraviesa a El Salvador en la misma dirección.

En la depresión antes mencionada se localiza la mayor parte del área en estudio, de la cual el 88%, está cubierta por rocas volcánicas de edad terciaria a cuaternaria; el 8% lo constituyen depósitos aluvionales (fluvio-lacustres) recientes y el 2% está cubierto por sedimentos antiguos que constituyen las terrazas del río Lempa. Al Noroeste de El

Salvador se localizan depósitos de sedimentos marinos que cubren aproximadamente el 2% del área en estudio, siendo éstos los materiales más antiguos del país, pertenecientes al período Jurásico-Cretácico.

Por movimientos tectónicos durante el Plioceno Superior se forma la fosa interior a lo largo del sistema de fallas ONO- ESE originándose en el borde Sur de esta fosa los volcanes de Guazapa, Guaycume, Nejapa y otros. A finales del Plioceno se produjo el hundimiento del área de Zapotitán-Ilopango-Olomega, iniciándose al mismo tiempo el levantamiento de la Cordillera del Bálsamo o Cadena Costera, formándose la Fosa Central. En la parte Sur de esta nueva fosa se originan los volcanes de San Salvador, Santa Ana y Cerro San Jacinto que expulsaron materiales que han rellenado las depresiones.

Los desplazamientos verticales de las principales fallas van de 1000 a 600m., siendo la de mayor desplazamiento la que separa la montaña fronteriza (Norte del río Lempa) del valle interior, siguiéndole en importancia la falla ubicada al Sur de la depresión : Ilopango- San Salvador- Zapotitán en donde se presenta el bloque levantado de la Cordillera del Bálsamo.

ESTRATIGRAFIA

Las rocas volcánicas y sedimentarias que cubren la zona en estudio, atendiendo a su edad, se han agrupado en formaciones geológicas, desde la más reciente hasta la más antigua. Estas formaciones son las siguientes [3] :

Formación San Salvador

Formación Cuscatlán

Formación Bálsamo

Formación Chalatenango

Formación Morazán

Estratos de Metapán

Grupo Yojoa

Formación Valle de los Angeles

(Ver figura N° 6)

Formación San Salvador

La actividad volcánica cuaternaria y reciente produjo la deposición de cenizas, lapilli y piroclastos en general, así como la eyección de coladas de lava y domos andesíticos.

[3]GOES-PNUD, "Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos - 1981", Recursos y Demandas Potenciales en la Región "A", Cuenca Alta, Media y Baja, vol. N° 1 y 2, Documento Básico N° 12.

A la vez, las corrientes de agua transportaban algunos de estos materiales, reclasificándolos según su granulometría y composición, en depósitos fluviales; la misma actividad volcánica con frecuencia bloqueaba el drenaje, formando lagos en donde se acumulaban sedimentos lacustres, recibiendo este conjunto de rocas el nombre de Formación San Salvador.

Formación Cuscatlán

La Formación Cuscatlán es de edad Plio-Pleistoceno, estando formada por lavas basalto-andesítica, intercalada con tobas y aglomerados, a veces con cubiertas de sedimentos aluvionales y piroclásticos. Su presencia en el área es notable porque forman los macisos volcánicos de Guazapa, Guaycume, Nejapa y los Cerros al Noroeste de Aguilares y demás afloran al Noroeste en las inmediaciones de Metapán y en el cerro Las Tablas al Suroeste de Nueva Concepción. Sedimentos fluviales y lacustres intercalados con piroclastitas se encuentran formando la llanura del río Lempa y al Este de la Laguna de Metapán.

Formación Bálsamo

La formación Bálsamo es del Terciario Superior (Mioceno-Plioceno), estando formada por aglomerados densos, lavas básicas, tobas, tufitas y lahars. Estos materiales

están aflorando en la Cordillera del Bálsamo, la cual se localiza al sur de Zapotitán, teniendo estos estratos un espesor de 1500 m. La meteorización ha desarrollado un suelo arcilloso con espesor variable hasta 15 m., también estos materiales se encuentran en la cadena interior, en los contornos y parte media del río Taxis-San Jacinto y al Norte del Cerro las Tablas y diseminados entre los ríos Jayuca y Metayate.

Formación Chalatenango

Las rocas de Formación Chalatenango pertenecen al Terciario Medio, y están constituidas por corrientes de lava, piroclastitas e ignimbritas ácidas que afloran en cercanías de la población de Citalá, en el curso superior y medio de los ríos La Palma-Nunuapa. Lavas y piroclastitas muy consolidados afloran asociados a fallas de dirección Noroeste-Norte (NO-N) en la parte media y en el costado derecho del río Guajoyo. Rocas del tipo granito fueron intruídas entre las Formaciones Morazán y Chalatenango y se encuentran al Norte de la Laguna de Metapán, en el Cerro Miramundo, al Oeste y Este de Citalá ; y al este de la población La Palma, en Chalatenango.

Formación Morazán

La formación Morazán pertenecen al Terciario Inferior, estando constituida por piroclastitas ácidas hasta intermedias y, a veces con alteración hidrotermal. Las rocas de esta Formación se encuentra en el curso superior y medio del río Angue, al Oeste de Citalá, en la parte media de los ríos La Palma - Nunuapa, en donde cubre extensa área, también afloran al Este y Oeste del río San José, parte alta del río Tahuilapa y en áreas reducidas en el río Taxis-San Jacinto.

Formación Estratos de Metapán

Esta formación es la más antigua, estando constituida por estratos sedimentarios, conglomerados, areniscos y calizas. En esta Formación están incluidas la Formación Todos Santos, Grupo Yojoa, y Valle de Los Angeles. La Formación Todos Santos está constituida por metasedimentos y conglomerados de cuarzo, principalmente rojos, areniscas y tufitas, las que localizan la parte media del río San José y Tahuilapa.

Formación Grupo Yojoa

El Grupo Yojoa está formado por calizas y calizas margosas, con intercalaciones de capas rojas, las que

afloran al Oeste, parte media y Noreste del río San José y en la parte media del río Tahuilapa.

Formación Valle de los Angeles

La Formación Valle de los Angeles está constituida por conglomerados de cuarzo, calizas y lutitas que se localizan al Norte de los ríos San José y Tahuilapa.

Geología de la zona de la cuenca en estudio, en las Repúblicas de Guatemala y Honduras.

En el área guatemalteca se encuentran Aluviones Cuaternarios, que se localizan al Norte y Sur de los ríos Tahuilapa y Tigrillo; rellenos y cubiertas gruesas de Cenizas Pomez de origen diverso, ubicados al Sur del río Tahuilapa, Rocas Volcánicas, Coladas de Lava, Lahar, Tobas y Edificios Volcánicos que afloran en la parte media del río Tahuilapa llegando hasta el Lago de Güija; Rocas Volcánicas sin división predominante Mio-Plioceno (tobas, lavas, lahar y sedimentos volcánicos) se encuentran al Norte del Lago de Güija y al Norte y Sur del río Tahuilapa; Rocas Carbonatadas Neoconiano-Campanianos Formación Coban-Ixcoy afloran en la parte media del río Tahuilapa y al Norte del Lago de Güija; capas rojas predominante Terciario, Formación Subinal y rocas metamórficas sin dividir, filitas, esquistos, cloritas y granatíferas, esquistos y gneisses de cuarzo, mica,

feldespato, mármol y migmatitas se encuentran aflorando al Norte del Lago de Güija.

En territorio Hondureño se distinguen dos unidades geológicas. La primera constituida por sedimentos continentales y marinos recientes, depósitos de pié de monte y terrazas de grava. La segunda, que contiene rocas volcánicas del grupo Padre Miguel formado por ignimbritas, tobas y rocas piroclásticas asociadas de tipo riolítico y andesita, rocas sedimentarias derivadas de rocas volcánicas y coladas de riolita andesita y basalto.

Toda la información anterior está basada en los mapas Geológicos de la República de El Salvador (1974), elaborado por la Misión Geológica Alemana y el Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas; el Mapa Geológico de la República de Guatemala, por el Instituto Geográfico de Guatemala y el mapa Geológico de la República de Honduras, preparado por la Dirección de Minas e Hidrocarburos, del Ministerio de Recursos Naturales de Honduras.

2.3.4 SUELOS.

La meteorización se define como el proceso de descomposición y fragmentación de la corteza terrestre;

todos los tipos de meteorización casi siempre trabajan juntos, aunque alguno de ellos puede ser dominante en un lugar y tiempo dados, variando la intensidad con que se manifiesta ya que dependen básicamente del clima, relieve, duración del proceso, composición de las rocas y otros.

Estos procesos son de gran importancia para la humanidad ya que su resultado final es el recurso natural más importante: el suelo, base de su sustento.

Geológicamente se considera que el suelo tiene un espesor de no más del 0.003% del espesor del SIAL, si éste se estima en 30km. Su más importante capa es la superior o capa vegetal, que en los suelos minerales, los que mayor extensión ocupan sobre la superficie sólida del globo, alcanza corrientemente 30 cms. de espesor, cuando no ha sufrido pérdidas por erosión. (Ver referencia N° 2).

De acuerdo al mapa pedológico de el Salvador, en la zona de la cuenca del embalse del Cerrón Grande se pueden observar asociaciones de grandes grupos, los cuales se muestran en la figura No.7.

A continuación se dá una breve descripción de las características de las principales asociaciones, ubicandolas de la siguiente manera: En la montaña fronteriza Norte se encuentran suelos, principalmente Litósoles y Regosoles,

Entisoles y grupos líticos en fase ondulada a montañosa muy accidentada, también existen Latosoles arcillo-rojizos, Alfisoles en fase pedregosa superficial, y además suelos Podzólicos rojo - amarillentos, éstos dos últimos grupos también en fase ondulada a montañosa muy accidentada; y finalmente se tiene Latosoles hidro-húmicos, Oxisoles en fase de montaña elevada a accidentada. En las zonas intermedias se encuentran suelos Regosoles y Aluviales, Entisoles en fase casi a nivel a ligeramente inclinada, también se tienen , suelos Aluviales, Grumosoles y Vertisoles en fase profunda a ligeramente a nivel , finalmente Litosoles y Latosoles arcillo-rojizos, Vertisoles y Altisoles en fase casi a nivel a fuertemente alomadas. En la meseta central y valles interiores podemos distinguir, además de toda la gama de los grupos de suelos citados, los Andosoles e Inceptisoles en fase ondulada a alomada, además Grumosoles en los terrenos bajos proximos a la montaña fronteriza Norte.

En el cuadro No. 1 se presenta una descripción más amplia de las principales asociaciones de grandes grupos de suelos existentes en El Salvador.

2.3.5 CLIMA Y VEGETACION

Como todo el país, el área estudiada pertenece a la región climática de los trópicos semi-húmedos con variaciones térmicas más o menos iguales en toda el área y con oscilaciones diarias mucho más importantes que las variaciones anuales.

De acuerdo a la clasificación de Kopper, Sapper y Laver, quienes consideran que la mejor expresión de los efectos del clima es la vegetación nativa, que generalmente está relacionada con la elevación del terreno sobre el nivel del mar, se identifican cuatro zonas climáticas.

1) Sabana Tropical o Tierra Caliente.

Corresponde a las áreas localizadas entre las elevaciones de 0 a 800 m.s.n.m. La variación de temperatura es de 22 a 29°C con una precipitación media anual de 1700mm, en las subregiones del río Sucio, Lago de Coatepeque, río Acelhuate, río Suquiapa, río Taxis, río Mojaflares, Metayate y río Nunuapa; 1500 mm, en las subregiones del río Angue, río San José, Laguna de Metapán, río Tahuilapa y Nacimiento del río Lempa; 1200 mm en las subregiones del río Ostúa, Lago de Güija y río Guajoyo, y en tendencia a disminuir hacia la zona guatemalteca, en donde llega hasta 1100 mm. o menos. Los cultivos predominantes son cereales, algodón,

pastos y caña de azúcar. De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de la formación vegetal del Dr. R.L. Holdridge en concordancia con el punto de vista ecológico en relación con el tipo de vegetación existente, pueden distinguirse dos zonas de vida o formaciones ecológicas: Bosque seco tropical y bosque húmedo sub-tropical, dividiéndose este último en dos subzonas: el bosque húmedo o zona de transición fresca y la zona baja o de transición caliente.

El bosque húmedo subtropical, zona baja o de transición caliente, comprende la zona de Zapotitán y la llanura a ambos lados del río Sucio, así como el área comprendida entre los ríos Salitre y Nueva Concepción-Agua Caliente la carreteca CA-2 y los márgenes del Lempa que se caracterizan por tener temperaturas altas, y períodos de lluvia y sequía bien marcados. La Asociación Vegetativa dominante es la llamada Asociación de Planicie Costera, formada por bosques mixtos, que ocupan los suelos aluviales cerca de los ríos.

La zona de transición fresca se caracteriza por el cultivo del café; tiene temperaturas más bajas que la anterior y abundante precipitación, existiendo durante la estación seca cierta disponibilidad de lluvia. La Asociación vegetativa imperante es por lo general de plantaciones de sombras de café, habiendo Pepeto donde hay abundancia de agua en la estación seca y Madre Cacao en los suelos donde se dispone de menos agua. Esta zona se localiza en las.

subregiones del río Angue y San José-Chimalapa y se caracteriza por tener temperaturas ligeramente inferiores a 24°C y precipitaciones mayores de 1400 mm.

El bosque seco tropical es la única zona de este tipo existente en el país. Posee una baja precipitación anual, la temperatura media es de 24.4°C y comprende el área plana alrededor del Lago de Güija y Laguna de Metapán. En su mayoría son suelos residuales arcillosos.

2) Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada

Son áreas con elevaciones entre 800 y 1200 m.s.n.m., se registran temperaturas anuales de 20°-22°C, disminuyendo a 18.4°C en las faldas de las montañas Montecristo y Los Esesmiles; en las faldas del Volcán de Santa Ana y en los alrededores de Santa Tecla, la disminución es hasta 19.4°C. La precipitación media anual es de 1800mm. en la zona del Volcán de San Salvador; 1900 mm. en el Volcán de Santa Ana; de 1400 mm en las subregiones del río Ostúa, Lago de Güija y río Guajoyo y de 1200 mm. en la subregión del río Angue.

Ecológicamente la zona se considera como bosque húmedo subtropical, zona de transición fresca y bosque muy húmedo subtropical , comprende el área de las faldas de las

montañas de Los Esesmiles y Montecristo; La vegetación son rodales de pinos, capulín de monte y otros.

Otras áreas de bosque subtropical de transición fresca son la subregión del río Angue, los cerros de Masahuat y Redondo, las faldas del Volcán de Santa Ana, alrededores del Lago de Coatepeque, Volcán de San Salvador, Cerro San Jacinto y parte de la Cordillera del Bálsamo.

3) Clima Tropical de las Alturas o Tierra Templada

Esta zona climática comprende elevaciones de 1200 a 1800 m.s.n.m. Las variaciones de temperatura son de 16° a 20°C, con posibilidades de heladas durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero. Se encuentra en toda la subregión del río Nunuapa-Tahuilapa-Rosario y Afluente Santa Inés, siendo la precipitación media anual de 1900 mm, además existe una pequeña área de las subregiones del río Angue, San José-Chimalapa y cauce principal del Lempa en las montañas de Alotepeque, que tienen 1800 mm; y de 1700 mm. en el área de las montañas de Los Esesmiles.

La superficie mencionada ecológicamente es un bosque muy húmedo, montano bajo, en donde el período de lluvia se prolonga casi un mes más debido a que su formación boscosa constituye un medio de condensación que aumenta progresivamente con la altura del bosque.

En los volcanes de Santa Ana y San Salvador que poseen elevaciones comprendidas entre 1200 y 1800 m.s.n.m., la zona se considera como bosque muy húmedo subtropical.

4) Clima Tropical de las Alturas o Tierra Fría

Corresponde a las elevaciones de 1800 a 2700 m.s.n.m., se encuentra localizada en los cerros de los volcanes de Santa Ana, San Salvador y en la cima de los cerros El Pital y Macizo Montecristo. La variación de temperaturas es de 16° a 10°C, la precipitación media anual es de 2400 mm. en el volcán de Santa Ana, 2000 mm en San Salvador y Cerro de Montecristo y de 1800 mm en el Cerro El Pital.

Ecológicamente la zona se conoce como bosque muy húmedo montano bajo, cuyas características fueron descritas en la zona climática anterior. Sin embargo, vale la pena llamar la atención sobre una parte del cerro El Pital, que se considera como bosque muy húmedo montano, con temperaturas de 6 a 12°C, topografía muy accidentada y suelos de pendientes altas, con una vegetación que a la fecha se ha conservado inalterada más que todo por lo difícil del acceso y la temperatura (Ver fig. No.8).

En el cuadro No.2 se presenta un resumen de las características de la cuenca del embalse del Cerrón Grande en cuanto a Clima y Vegetación.

2.3.6 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es un parámetro que relaciona la presión de vapor entre la presión de saturación del aire expresada en porcentaje.

A continuación se presentan valores de humedad relativa que fueron registrados en algunas de las estaciones climatológicas ubicadas en el área de la zona en estudio [4]; las cuales se consideraron de mayor importancia por sus años de registro.

ESTACION SAN ANDRES. (24 años de registro)

Estación Lluviosa:

La humedad relativa media en esta estación es de 82 %, con máximas de 85% y 84%, en los meses de Septiembre y Junio, y un mínimo de 78% en Mayo.

Estación Seca:

El promedio mensual es de 71% ,extremos de 77% en el mes de Noviembre y 69% en Marzo.

[4]Centro de Meteorología e Hidrología, Dirección General de Recursos Naturales, M.A.G., "Almanaque Salvadoreño - 1993", 1993.

Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.
78	84	82	82	85	82	77	72	68

Feb.	Marz.	Abril	Promedio Mensual
68	69	71	76

ESTACION SAN SALVADOR ITIC (28 años se registro)

Estación Lluviosa:

Durante ésta estación la humedad relativa alcanza un máximo de 83% en el mes de Septiembre y un mínimo de 75% en Mayo obteniendose un promedio mensual de 80%.

Estación Seca:

Alcanza un máximo del 71% en el mes de Noviembre y un mínimo del 62% en Febrero para un promedio mensual del 66%.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero
75	81	78	79	83	79	71	66	63

Feb.	Marzo	Abril	Promedio Mensual
62	63	67	72

ESTACION SANTA ANA, EL PALMAR (26 años de registro)

Estación Lluviosa.

Se obtiene un máximo de 81% en Septiembre y un mínimo de 73% en Mayo resultando un promedio mensual de 78.0%.

Estación Seca.

Se alcanza un máximo de 70% en Noviembre y un mínimo de 63% en Febrero y Marzo, con un promedio mensual de 64%.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero
73	80	76	77	81	77	70	67	65

Feb.	Marzo	Abril	Promedio Mensual
63	65	64	71

ESTACION LA PALMA . (20 años de registro)

Estación Lluviosa.

Alcanza un máximo del 86% en el mes Septiembre y un mínimo del 82% en el mes de Julio obteniendose un promedio de 84%.

Estación Seca.

Se presenta un máximo de 78% en Noviembre y un Mínimo de 68% en Marzo con un Promedio Mensual del 72%.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
78	86	82	85	86	83	78	75
Enero	Feb.	Marzo	Abril	Promedio mensual			
73	70	68	71	78			

ESTACION NUEVA CONCEPCION (15 Años de registro)

Estación Lluviosa:

La humedad relativa tiene valores extremos del 82% y 71% en los meses de septiembre y Mayo con un promedio mensual de 79%.

Estación Seca:

Con un valor promedio de 64% y extremos de 69% y 56% en los meses de Noviembre y Febrero.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
71	80	79	80	82	78	69	63

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Promedio Mensual			
60	56	59	62	71			

ESTACION GÜIJA (21 años de Registro)

Estación Lluviosa:

Alcanza una humedad relativa máxima de 82% en el mes de Septiembre y una mínima de 69% en Mayo con un promedio de 78% .

Estación Seca:

Se obtienen valores extremos de 69% y 58% en los meses de Noviembre y Marzo con un promedio mensual de 62% .

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
69	78	77	79	82	77	69	64

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Promedio Mensual.
62	59	58	60	69

En el cuadro No.3 se presenta un resumen de las características de la cuenca del embalse del cerrón Grande en lo que a Humedad Relativa respecta.

2.3.7 VIENTOS

Considerado como factor climático y tomado en cuenta como agente morfogenético. Los vientos con altas velocidades, aumentan su efecto en relación con el

incremento de la cubierta protectora o de la resistencia de la superficie a la erosión, siendo éste un fenómeno que aporta sedimento; la ausencia de vegetación incrementa la efectividad del viento para la aportación de sedimentos a cualquier reservorio (Ver referencia N° 2).

El viento tiene la característica de poseer una mayor velocidad en la época seca, (Noviembre - Abril) que en la lluviosa. (Mayo-Octubre).

Las características y datos promedios para las estaciones climatológicas dentro del área en estudio son las siguientes:

Estación San Andrés:

Durante la estación lluviosa la dirección del viento es Oeste, cambiando en los meses de Julio y Agosto a Nor-Este, con una velocidad promedio de 4.7 km/hora. Un máximo de 6.0 km/hora en Octubre, como mínimo la velocidad máxima absoluta es de 104.4 km/hora.

Estación Seca: El viento tiene un promedio de 6.4 km/hora, valores máximos y mínimos de 7.6 y 4.6 km/hora en los meses de Marzo y Noviembre, un máximo absoluto de 65.9 km/hora en Febrero, la dirección dominante es Norte durante

los meses de Diciembre, Enero y Febrero y en los tres meses restantes es la misma.

Estación San Salvador ITIC

En el período lluvioso posee un registro de velocidad media igual a 6.3 km./h., con rumbos dominantes: Norte-Sur Oeste, Este-Sur Oeste.

Y en el período seco se tiene un registro de velocidad media igual a 9.4 km./h., con rumbos dominantes Norte, Oeste-Suroeste, Sur Oeste.

Estación Santa Ana El Palmar

Posee una velocidad media igual a 6.4km/h. y una velocidad máxima absoluta igual a 80.9 km./h, con rumbos dominantes Sur-Oeste, Oeste, durante la época lluviosa, y en la época seca posee una velocidad media de 9.2 km./h, una velocidad máxima absoluta igual a 75.2 km./h y rumbos dominantes Oeste - Sur Oeste.

Estación la Palma

Epoca lluviosa: vientos del Nor-Este en la zona de El Salvador y de dominancia norte en el área Hondureña,

velocidad promedio de 3.9 km./h. con extremos de 4.8 y 3.4 km./h. y máxima absoluta de 100.8 km/h.

Epoca seca: alisos del Norte con rumbo dominante, velocidad de 7.1 km./h, con extremos de 7.4 y 6.8 km./h con una máxima absoluta de 91.8 km./h.

Estación Güija

Periodo lluvioso: Posee un registro de velocidad media de 6.4 km./h y una velocidad máxima absoluta de 80.9 km./h con rumbos dominantes Sur-Oeste, Oeste.

Periodo seco: Se tiene un registro de velocidad media de 9.2 km./h y velocidad máxima absoluta de 75 km./h con rumbos dominantes Oeste- Sur-Oeste.

Estación base en Guatemala: Asunción Mita.

Estación Lluviosa: posee un registro de velocidad de viento promedio mensual de 3.2 km./h con un máximo en el mes de Julio de 5.3 km./h y dos mínimos de 2.0 km./h, en el mes de Junio y Septiembre.

Estación seca: se tiene un promedio mensual de 8.6 km./h y extremos de 11.7 y 6 km./h en los meses de Marzo y Abril.

Estación Nueva Concepción

Estación lluviosa: se tiene un registro de velocidad media de 3.9 km./h y una dirección dominante Sur-Este; con máximo de 4.8 km./h en el mes de Mayo y 3.4 km./h y una velocidad máxima absoluta de 100.8 km./h.

Estación Seca: Se posee un registro de velocidad media de 7.5 km./h y extremos de 8.6 y 6.2km./h en los meses de Febrero y Noviembre, y una velocidad máxima absoluta de 91.8 km./h , con dirección dominante Norte, cambiando en los últimos meses a Sur.

En el cuadro No.4 se presenta un resumen de las características de la cuenca del embalse del Cerrón Grande en lo que a Vientos respecta.

2.3.8 EVAPOTRANSPIRACION.

El conocimiento de la Evapotranspiración es un factor determinante en el diseño de muchas obras hidráulicas importantes, especialmente en el cálculo del volumen útil del embalse de una presa, su principal definición es la siguiente :

Bajo la acción de la temperatura que proviene de la energía solar, el agua recupera el estado de vapor en el curso de todas las etapas de su ciclo, su acción se extiende a la superficie del suelo, cobertura vegetal, aguas de escorrentía y superficies de aguas libres; a esta acción se le añade la transpiración de las plantas y estos dos fenómenos se agrupan en uno solo [5].

Dentro del área en estudio se encuentran diseminadas algunas estaciones climatológicas que miden la evapotranspiración potencial, para ésto se utiliza el método del Dr. HARGREAVES en las estaciones más representativas, en laminas mensuales, de acuerdo al siguiente detalle:

Evapotranspiración Potencial (m.m.)

Estación San Andres- Elevación 460 m.s.n.m.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
164	142	152	151	134	132	123	124

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Anual
132	133	167	169	1723

[5] Aparicio Mijares, Francisco Javier, "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Editorial Limusa - 1989.

Estación San Salvador ITIC - Elevación 720 m.s.n.m

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
164	144	152	151	133	136	132	129

Enero	Feb	Marzo	Abril	Anual
136	137	168	169	1751

Estación Santa Ana- El Palmar - Elevación 725 m.s.n.m.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
169	144	157	155	137	137	137	137

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Anual
132	133	168	172	1778

Estación La Palma - Elevación 1000 m.s.n.m

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
151	121	139	133	119	119	110	110

Enero	Feb	Marzo	Abril	Anual
116	118	152	157	1545

Estación Nueva Concepción - Elevación 320 m.s.n.m.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
182	157	160	159	144	143	136	139

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Anual
152	153	186	190	1901

Estación Güija - Elevación 485 m.s.n.m.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
182	139	147	136	117	125	120	125

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Anual
131	136	178	185	1721

Promedios de Evapotranspiración de el Area en Estudio

Promedio Mensual.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
169	141	151	148	131	132	127	127

Enero	Feb.	Marzo	Abril	Anual
133	135	170	174	1738

En el cuadro No.5 se presentan las características de la cuenca del embalse del cerrón Grande en lo que a Evapotranspiración respecta.

2.4 ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES EN LA CUENCA DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

VARIACION ANUAL DE LA LLUVIA.

En el área en estudio existen 64 estaciones metereológicas. La distribución areal de la precipitación en toda la cuenca del Río Lempa se presenta en el mapa de las Isoyetas medias anuales (1959 - 1980) de la región. (ver Fig.No.9). Además se presentan a continuación las cantidades de precipitación media, máxima y mínima en cada subcuenca de los ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande.

2.4.1 PRECIPITACIONES ANUALES (m.m.)

Subcuenca	Media	Máxima	Mínima
San José	1564	1994	1034
Angue	1339	1783	706
Metayate	1981	2607	1262

Tamulasco	1938	2747	856
Grande	2095	3383	1052
Quezalapa	1770	2839	969
Mojaflores	1596	2213	694
Salitre	1680	2082	1219
Nunuapa	1718	2199	1132
Cusmuapa	1252	1621	935
Ostúa	1220	1796	889
Embalse del Cerrón Grande	1926	3137	1053

Los puntos de lluvias máximas se encuentran localizados especialmente en la región de los volcanes y puntos elevados, tales como: Los volcanes de Santa Ana, San Salvador, Cerro de San Jacinto, Cerro de Montecristo y la cabecera de la cuenca del río Ostúa, con precipitaciones que varían en promedio de 2000 mm a 2300 mm.

Las zonas de mínimas lluvias, se localizan en los alrededores de Coatepeque - El Congo - Sierra Morena, alrededores del Lago Güija y especialmente en las zonas comprendidas entre Atescatempa - Asunción Mita - Angüiatú - Agua Blanca y Las Cruces, donde se dan valores de precipitación 25% abajo de la precipitación media de la cuenca.

2.4.2 VARIACION MENSUAL DE LA LLUVIA (mm.)

La variación de la lluvia mensual durante todo el año, se ha obtenido en base a los registros de todas las estaciones meteorológicas existentes en la cuenca del río Lempa.

En base a un análisis probabilístico realizado en el "Plan Maestro", se determinó la lámina de lluvia mensual para una probabilidad del 90%. Los resultados se muestran a continuación:

Mayo	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr.
128	219	177	192	234	57	4	0	0	0	0	23

DETERMINACION DE LAS CURVAS AREA - PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION - DURACION (A-P-D)

Las curvas A-P-D sirven para determinar el potencial de precipitación que existe en una zona dada , además constituyen uno de los métodos más simples que existe para transportar tormentas de un sitio a otro. Este análisis trata de establecer las cantidades máximas de precipitación que se producen en diferentes áreas y para diferentes.

duraciones, con base a una red de estaciones que registran simultáneamente la precipitación durante una tormenta dada.

Cuando se tienen datos de una tormenta, el procedimiento general para determinar estas curvas es el siguiente [6] :

1) Se recopilan todos los datos de lluvia dentro del área de la tormenta analizada. En este caso se tomo como lluvia patrón la ocurrida los días 27 y 28 de Agosto de 1988 principalmente porque fué una lluvia uniforme a nivel nacional y en consecuencia también lo fué en el área en estudio (cuenca del embalse del Cerrón Grande).

2) Se limita el área de la cuenca de acuerdo a la lluvia y no por desiciones políticas. Dada la cobertura de esta tormenta se dividió el país en dos regiones : Región I y Región II según el mapa isoyético mostrado en la Fig. N°10 (Para fines de nuestro trabajo se presentan las curvas A-P-D de la Región I y II ya que éstas tienen una cobertura a nivel nacional (Ver Fig. 11 , 12 , 13 y 14).

[6] Chévez, Diógenes de Jesús, Tesis: " Generación de un Modelo Paramétrico para el cálculo de crecidas en pequeñas cuencas", UES, 1988.

3) Una vez referenciada la cobertura de este evento y en base a los mapas de isolneas de intensidades máximas, para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años y duración de 180 minutos, como se muestra en las Fig. 15 , 16 y 17 ; se obtienen los datos diarios y horarios para establecer el comienzo y finalización de la tormenta.

Para este caso se lograron recopilar datos de precipitación horaria en 7 estaciones pluviométricas, a su vez, se obtuvo un listado de 38 estaciones con datos de precipitaciones diarias.

4) Con los valores obtenidos se evaluó la lluvia acumulada o curva masa para las estaciones involucradas en el análisis; se seleccionaron los centros de lluvia, se calcularon las precipitaciones promedio, empleando el método de las isoyetas, para cada uno de ellos y se trazaron los Polígonos de Thiessen para cada estación.

5) Se calcularon las áreas de influencia de los Polígonos de Thiessen sobre cada isoyeta, para cada centro de lluvia y se calculó el área total de influencia de cada uno, más su respectiva precipitación acumulada para las duraciones ya establecidas.

6) Finalmente, y sabiendo que la precipitación acumulada es la suma de porcentajes de precipitaciones que

influyen en las estaciones aledañas calculadas por medio de los Polígonos de Thiessen, se trazan las curvas A-P-D.

2.4.3 INTENSIDAD DE LA LLUVIA.

La intensidad de la lluvia es un parámetro que tiene mucho que ver con el proceso de sedimentación, ya que éste se inicia desde el momento en que una partícula del suelo es desprendida debido a la energía cinética producida por el impacto de una gota de lluvia, pasando luego por una serie de procesos hasta llegar a depositarse, en nuestro caso, a un reservorio.

Mientras más alta sea la intensidad de la lluvia, más alta es la cantidad de partículas que se desprenden del suelo, por esta razón se presenta a continuación la metodología general para trazar las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, aplicadas al área en estudio del presente trabajo de graduación.

CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA (I-D-F)

Con el objeto de obtener las intensidades máximas probables para diferentes periodos de retorno, se calcularon las curvas I-D-F para la cuenca del embalse del Cerrón Grande, con estas curvas se pueden calcular los diferentes

valores de intensidades máximas para cualquier período de retorno, ésto nos permite conocer el comportamiento que la lluvia puede tener en un tiempo futuro.

El método que se siguió para obtener las curvas I-D-F fué el siguiente (Ver referencia N° 6) :

1) Se tomaron valores de Intensidades anuales máximas de lluvia de 64 estaciones del país, para diferentes duraciones.

2) Se ordenaron de mayor a menor los valores de intensidades máximas de cada duracion y se calculó su frecuencia de acuerdo a $f = m / n+1$

Donde :

f : frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

m : posición del dato.

n : número de datos.

3) Se graficaron las intensidades máximas contra sus respectivas frecuencia en papel probabilístico Gumbel, luego se encontraron las intensidades de diseño para diferentes períodos de retorno, con éstos datos se procedió a obtener las curvas I-D-F para la estación Las Pilas (G-5) y Santa Tecla (L-8), respectivamente. (Ver Fig. N° 18 y N° 19)

Las estaciones anteriores fueron seleccionadas por estar dentro del área en estudio del presente trabajo de graduación.

2.5 ESCORRENTIA SUPERFICIAL.

2.5.1 VARIACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES.

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser arrastrada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre sigue diversos caminos, los cuales se dividen en tres clases:

- Escurrimiento subterráneo
- Escurrimiento sub-superficial
- Escurrimiento superficial

Este último es la parte de la precipitación que escurre por y hacia las vertientes, ésta puede controlarse por medio de estaciones limnigráficas, las cuales registran su variación de una forma continua, expresándose generalmente en $\text{m}^3/\text{seg.}$, promedio por día, mes o año (Ver ref. N°5).

En la fig No.20 se muestra la escorrentía superficial promedio mensual de las subcuencas del río Lempa.

La información de caudales que mantendrá nuestra atención proviene de las estaciones hidrométricas Paso del Oso y Poza del Silencio (Ver figura N° 21) , la primera con un periodo de registro comprendido entre 1972 - 1982 (11 años) y la segunda 1972 -1976 (5 años); estos caudales son promedios mensuales obtenidos de los anuarios hidrológicos editados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.).

También se obtuvieron los valores de caudales promedios mensuales correspondientes a la presa del Cerrón Grande durante el periodo comprendido entre 1976 - 1992 (17 años), tiempo en el que inicialmente se embalsaron las aguas del proyecto y en consecuencia se inició el proceso de sedimentación del embalse.

2.5.2 ARRASTRE DE SEDIMENTOS (CALCULO PRELIMINAR)

Para cuantificar el sedimento en suspensión se evaluó la escorrentía superficial en la estación Poza del Silencio con el fin de determinar el sedimento en suspensión que entró al embalse del Cerrón Grande durante el periodo 1976 - 1992 (17 años).

METODOLOGIA

1. Se escogió la estación hidrométrica Poza del Silencio como punto de control para la determinación preliminar del sedimento que hubiera estado en tránsito de no existir la presa del Cerrón Grande, y que sin embargo éste se encuentra depositado en el embalse. ✓

Se eligió este punto debido a la cercanía que posee con la estructura de la presa, convirtiéndose de ésta manera en el punto más representativa del río Lempa dentro del área en estudio.

2. Se tomó como base la estación hidrométrica Paso del Oso para el relleno de datos faltantes de la estación Poza del Silencio por las siguientes razones:

- Se encuentra ubicada dentro del área en estudio.
- Mide caudales del cauce principal del río Lempa.
- Es de las pocas estaciones cuyo período de registro coincide totalmente con el del punto de control y se extiende 6 años más, por lo cual se pudo sacar una ecuación de correlación (ver cuadro No.6).

3. Debido al conflicto armado vivido en el país en los últimos 12 años, no se cuenta con los registros de caudales promedios mensuales de la estación Paso del Oso.

correspondientes a éste período. Por lo anterior se hizo necesario correlacionar la información de Paso del Oso con los datos proporcionados por CEL del proyecto hidroeléctrico del Cerrón Grande para el período anteriormente mencionado (Ver cuadro No.7).

4. Con la información generada anteriormente para la estación Paso del Oso, se procedió a rellenar por correlación lineal los caudales promedios mensuales de la estación Poza del Silencio para el período 1976 - 1992 (Ver cuadro No.8).

Definida la correlación de los puntos se procedió a determinar la ecuación que rige el comportamiento lineal de los mismos, obteniéndose:

$$Y = 2.595x - 5.631$$

Esta ecuación nos permite obtener los caudales líquidos para el período 1976 - 1992 de la estación Poza del Silencio, según muestra el cuadro No.9, período en el cual se pretende conocer la cantidad de sedimento acumulado en el embalse del Cerrón Grande.

2.5.2.1. DETERMINACION DEL CAUDAL SOLIDO.

Para poder hacer un cálculo preliminar del sedimento en suspensión, se evaluó la escorrentía superficial en la estación hidrométrica Poza del Silencio, cuyos datos de caudales promedios mensuales fueron obtenidos por medio de un análisis estadístico (correlación lineal).

Este cálculo preliminar está basado en la relación que guardan el caudal líquido con el caudal sólido, para esto se procedió a graficar las ecuaciones exponenciales correspondientes a cada año de registro de la estación en estudio, las cuales fueron obtenidas de los anuarios hidrológicos publicados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.), éstas ecuaciones son las siguientes:

Año Hidrológico	Ecuación
1971 - 1972	$Q_s = 0.0140 Q_l^{2.4500}$
1972 - 1973	$Q_s = (0.2200 Q_l)^{2.62}$
1973 - 1974	$Q_s = 0.0100 Q_l^{2.5400}$
1974 - 1975	$Q_s = 0.013 Q_l^{2.5670}$
1975 - 1976	$Q_s = 0.0002 Q_l^{3.8600}$

De todas las anteriores se consideró que la más representativa es:

$$Q_s = (0.2200 Q_l)^{2.62}$$

Ya que ésta representa el caso más desfavorable de todas las consideradas según puede observarse en la figura No. 22.

A partir de la ecuación anterior se estimó la cantidad de sedimento que tendría que estar depositado en el Embalse del Cerrón Grande en el período comprendido entre 1976-1992, según se muestra en cuadro No.10.

La cantidad de sedimento calculado es una aproximación matemática, y al ser éste un procedimiento válido, se le tendría que restar el sedimento en solución y en suspensión que es turbinado por la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, proceso que será realizado en detalle en el capítulo IV.

C A P I T U L O I I I .

CALCULO DE LA PERDIDA POTENCIAL DE SUELO DE LA CUENCA

3.0 INTRODUCCION

En este capítulo se le dará especial interés al análisis y evaluación de la cantidad de suelo que periódicamente pierde cada año la cuenca del embalse del Cerron Grande. Para éste propósito serán de mucha utilidad las características físicas e hidrológicas del área en estudio enumeradas en el capítulo anterior, estas características pueden despejar las dudas acerca de los orígenes, fuentes de producción y propiedades físicas del sedimento.

El objetivo principal de la cuantificación de la pérdida de suelo en la cuenca antes mencionada, es el de determinar la capacidad de producción de sedimentos que esta área posee y la potencialidad de las principales subcuencas de la cuenca media - alta del río Lempa, para aportar cantidades importantes de material sólido al embalse del Cerrón Grande. Para realizar este cálculo se implementará el uso de una expresión matemática que encierra en su esencia una gama de factores que a su vez reflejan en forma numérica las reales condiciones de la cuenca del embalse antes mencionado.

La Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) desarrollada por Williams, cumple con las condiciones enumeradas anteriormente, por lo tanto será utilizada para nuestros propósitos, y el resultado que de ella se obtenga, servirá como parámetro de comparación con la cantidad de sedimento depositado en el fondo del embalse del Cerrón Grande, que se calculará en el capítulo IV, para determinar que porcentaje de la cantidad de material sólido producido por la cuenca va a parar al reservorio.

3.1 GENERALIDADES

La susceptibilidad de un suelo a la erosión es función de muchos factores, entre los que pueden mencionarse su estructura, permeabilidad, contenido de humedad, textura, estratificación, tipo y extensión de su cobertura vegetal y pendiente de la superficie. Por otro lado la energía de la caída y el tamaño de las gotas de agua, en relación con el estado presente del suelo o condiciones antecedentes, son de suma importancia en la producción y arrastre de sedimentos.

La intensidad de las tormentas contribuye como especie de bombardeo de gotas cuyo impacto es tal que disgrega las partículas del suelo (ver figura No.23), para luego arrastrarlas al momento que dicha intensidad supera la capacidad de infiltración, es aquí cuando tiene lugar el

escurrimiento superficial. Por lo tanto la disipación de la energía de choque y la retención superficial del escurrimiento, logran en gran parte minimizar o evitar de alguna manera la erosión.

Un suelo bien cubierto con vegetación densa y permanente, prácticamente no sufre erosión. La intensidad, frecuencia y duración de las tormentas, son las características de mayor significado de la precipitación, en relación con la pérdida de suelo.

Prolongados periodos de sequía predisponen el suelo a la disgregación por fragmentación y las temperaturas elevadas lo resecan haciendole perder su cohesión; por otro lado, la muerte de la vegetación desviste al suelo y las raíces se convierten en verdaderos canales subsuperficiales por los que se conduce el agua al llegar las lluvias, causando desgarramientos del suelo o desprendimientos. El agua actúa en este caso como lubricante, disminuyendo la resistencia al rozamiento y el esfuerzo cortante de las partículas.



Todos los procesos antes mencionados son de duración permanente y de edad geológica, sin embargo, el factor acelerante del cambio lo constituye la presencia del hombre, mas directamente el abuso descontrolado o sobreexplotación de los recursos naturales renovables. Lo que a la naturaleza

le ha llevado miles de años en preparar un suelo fértil y productivo, el hombre por malos procedimientos de cultivo, tala excesiva de los bosques sin probabilidades de regeneración, sobrepastoreo animal, mal uso vocacional de los suelos y en general mal manejo de las cuencas, propicia las condiciones requeridas para que en cuestión de minutos se pierda irreversiblemente el suelo por la erosión, según las diferentes formas de ésta.

La erosión, en términos generales, puede de alguna manera ser cuantificada para un área determinada, ésto se ha intentado a través de muchos años en el campo del manejo de la tierra, mediante expresiones matemáticas que predicen la erosión en forma de pérdida del suelo, siempre y cuando se cuente con las circunstancias adecuadas.

La expresión matemática más famosa usada para los propósitos antes mencionados es la Ecuación Universal Modificada de Pérdida del Suelo (MUSLE); esta ecuación aísla las variables que intervienen o influyen en la pérdida del suelo, y las reduce de tal manera a números que cuando son multiplicados en conjunto, el producto es la cantidad de suelo perdido para una área determinada. En nuestro caso la MUSLE será aplicada a las distintas subcuencas de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande, obteniéndose así la potencialidad en aporte de sedimentos de cada una de ellas al reservorio citado anteriormente;

comparandose después este resultado en conjunto con la cantidad de sedimento depositado en el fondo del mismo, a calcularse en el próximo capítulo, con el propósito de conocer que porcentaje de suelo perdido por la cuenca va a parar al embalse.

3.2 ORIGENES Y FUENTES DE PRODUCCION DE SEDIMENTOS.

Se define como sedimento toda partícula resultante de la denudación o pérdida del suelo causada por agentes erosivos del medio ambiente, que es transportada desde su lugar de origen en suspensión o arrastrada por el aire o la escorrentía superficial y posteriormente depositada a lo largo de los cursos naturales (ríos), valles de origen fluvial, lagos y lagunas, embalses, y que finalmente alcanza la desembocadura de la corriente al mar, donde forma deltas y estuarios (ver referencia No.2). La erosión es un fenómeno superficial causado por agentes como el viento, la lluvia, la escorrentía, las variaciones extremas de tipo climático que provocan sequías prolongadas o temporales, incendios forestales, terremotos y la acción del hombre en actividades que modifican o alteran el paisaje como la deforestación inmoderada o descontrolada, técnicas inapropiadas de cultivos, limpias en terrenos de pendiente pronunciadas, mal uso de la tierra sin ninguna conservación de suelos, construcción de carreteras o urbanizaciones, etc.

La cantidad de sólidos resultantes de la erosión depende de la naturaleza de la cuenca, de sus características físicas e hidrológicas, y se expresa en unidades de peso o volumen por unidad de área y de tiempo, generalmente por año.

Según LEOPOLD los valores altos se registran en las cuencas pequeñas de las regiones de régimen de lluvias irregulares, en donde la cantidad de sólidos alcanzan valores del orden de 10,000 m³/km² /año, además estima que el promedio de erosión sobre toda la superficie terrestre es de 2.7 cms. cada 1,000 años (ver referencia No.2).

Los factores que determinan los diferentes grados de erosión de una cuenca son: presencia de vegetación, textura del suelo, pendiente, régimen de lluvias, etc.; Sin embargo, puede haber zonas de erosión acelerada por acción del hombre. La destrucción de la cobertura vegetal acelera los procesos de erosión, esta situación se puede apreciar en las zonas aledañas al embalse del Cerron Grande y en general, en toda la cuenca media-alta del río Lempa.

En El Salvador, el principal agente erosivo es el agua, el cual unido a los otros agentes antes mencionados, provoca estragos en muchas áreas del país.

Como ocurre con otros fenómenos, el estudio de la erosión exige el manejo de escalas muy dispares, tanto espaciales como temporales. Las escalas espaciales abarcan desde la continental, o incluso planetaria en un extremo, hasta microscópica en el otro, con todas las posibilidades intermedias. En cuanto a tiempo, la erosión se manifiesta en episodios que son unos de muy corta duración (como los que se pueden producir a causa de una tormenta), otros que duran decenas o centenas de años (la erosión por incisión de una red fluvial) y los hay de muy larga duración o de escala geológica (el arrasamiento de una cordillera). De acuerdo a estos conceptos, se puede hablar de diferentes tipos de erosión:

EROSION GEOLOGICA: Es la erosión de la superficie terrestre bajo condiciones naturales, las vastas extensiones de rocas sedimentarias que se encuentran en la superficie de la tierra, son una evidencia de la cantidad tremenda de erosión geológica y la deposición que ha ocurrido a través de los tiempos geológicos.

La erosión geológica varía en diferentes lugares de la tierra debido a los tipos de rocas y de las condiciones de clima y vegetación.

El control de esta erosión es casi siempre difícil de lograr debido a que las condiciones naturales que han

prevalecido a través de los tiempos no pueden ser cambiadas significativamente; Sin embargo, bajo ciertas condiciones locales puede controlarse mediante ciertas mejoras en el terreno. Donde la erosión geológica aparece primeramente como canales de erosión, ésta puede controlarse mediante estructuras de estabilización, como presas de control. En muchos casos el control de este tipo de erosión no es económicamente factible debido a que la mayoría de estos terrenos tienen muy poco valor para el cultivo agrícola. Encuentra su justificación únicamente cuando se hace necesario proteger instalaciones aguas abajo.

EROSION ACELERADA : Este tipo de erosión tiene un desarrollo mayor que la erosión geológica, debido más que todo a las actividades humanas. La resistencia a la erosión de los materiales naturales puede debilitarse debido a alteraciones en la estructura del suelo, especialmente cuando se remueve la cubierta vegetal.

Las condiciones de escorrentía sobre la superficie terrestre y las características hidráulicas del flujo pueden ser cambiadas mediante el uso de obras de mejoramiento o alterando las características naturales del canal (sección transversal del canal, alineamiento, pendiente, etc.).

ACTIVIDADES AGRICOLAS: Las actividades agrícolas son las que más han influenciado sobre la erosión y producción

de sedimentos a través de los tiempos. Históricamente la erosión acelerada, por el uso de la tierra para la producción de alimentos, inició hace unos 7,000 años; desde ese tiempo numerosas civilizaciones se vieron seriamente afectadas y en algunos casos desaparecieron debido al tremendo deterioro de la tierra, lo que la hacía improductiva.

El uso de nuestras tierras para la agricultura produce cambios en las condiciones naturales. El incremento en la pérdida de la productividad de los suelos depende del espesor de la erosión sobre la cubierta terrestre, donde las plantas pueden desarrollarse.

Hoy día, gracias a los adelantos de la tecnología, los productores disponen de muchas técnicas para controlar la erosión de los campos y por ende conservar los suelos.

URBANIZACIONES Y CARRETERAS: Durante el proceso de construcción de una urbanización el incremento en la erosión es bastante alto, debido a la remoción de la capa vegetal y a las actividades de excavación, nivelación, etc.

De igual forma, durante la construcción de caminos y carreteras pueden ocurrir erosiones significativas. Esta erosión puede causar serios problemas locales o causar daños severos por la deposición de sedimentos aguas abajo; sin

embargo, el principal problema, lo constituye la protección de los taludes y las superficies expuestas, debiéndose evitar que no se constituyan en futuros productores de sedimentos.

ALTERACION EN LAS CONDICIONES DEL FLUJO: La energía erosiva es una función del volumen de agua y su velocidad. Cuando se incrementa el volumen de la corriente de agua, o se concentra el agua en canales naturales o artificiales, la energía erosiva aumenta considerablemente. Muchas de las actividades humanas que tienen que ver con el uso de la tierra, generalmente requieren incrementar el volumen de la corriente de agua o concentrar el flujo. La limpieza de los campos de cultivos incrementa el porcentaje de lluvia que escurre, mientras que los sistemas de recolección y deposición concentran el volumen del flujo.

OBRAS DE CONTROL EN LOS RIOS: Estas obras pueden acelerar notablemente la erosión del canal. Cualquier obra estructural que mejore la dirección del flujo o incremente su profundidad, duración y velocidad, puede ocasionar problemas de erosión. Alineamientos del canal, que incrementan la pendiente y la velocidad del flujo pueden dar inicio a la erosión del mismo. De igual forma, restricciones en las secciones transversales del canal incrementan la velocidad y profundidad del flujo y por consiguiente también el poder de erosión y transporte de la corriente. Además de

destruir tierras productivas mediante la erosión del lecho y las márgenes del canal principal y sus tributarios, la degradación de éste puede depreciar seriamente las tierras adyacentes debido a un descenso drástico en el nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), las cuales son necesarias para mantener la capacidad productiva del suelo.

La construcción de una presa influye en la estabilidad aguas abajo de dos maneras, reteniendo los sedimentos y por consiguiente cambiando las características naturales del flujo aguas abajo. Tanto los sedimentos como las condiciones del flujo son responsables del establecimiento del régimen natural del canal antes de la construcción de la presa. El agua limpia que proviene del reservorio recoge de inmediato nueva carga aguas abajo, si la descarga es suficiente para erosionar el lecho y transportar el sedimento. Cuando esta situación prevalece, el resultado neto será la erosión del canal y el descenso del lecho continuará hasta que la corriente adquiera el balance con las nuevas características del flujo.

3.3 CARACTERISTICAS FISICAS E HIDROLOGICAS DE LA CUENCA DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE EN RELACION AL APOORTE DE SEDIMENTOS.

3.3.1 CARACTERISTICAS FISICAS (FACTORES EXTERNOS)

La montaña Sierra Madre corre a través de El Salvador con una orientación general de Oeste a Este y las mayores alturas están localizadas en los picos de los volcanes, aproximadamente el 90% de la tierra en el país es de origen volcánico, por lo que es conocido como "la tierra de los volcanes", el suelo es fértil compuesto en forma primaria por cenizas volcánicas.

La agricultura de subsistencia que se practica en El Salvador, año con año se expande debido principalmente al aumento de la densidad de población. Cada porción de tierra disponible inmediatamente es cultivada, tanto así que sin consideración alguna cada palmo de tierra ociosa es usada para siembra.

En la cuenca media-alta del río Lempa los sembrados más importantes están constituidos por el maíz, el frijol y el arroz. Todo el maíz cosechado en el Salvador es utilizado para uso interno del país, principalmente para completar la dieta alimenticia. Cada día más hectáreas de tierra son utilizadas para el cultivo del maíz, más que para cualquier

otro cereal, nada menos que 320,000 hectáreas fueron ocupadas por éste cultivo en 1988 [7].

Económicamente las áreas rurales tienden a ser las tierras de menos costo en el medio agrícola, en concordancia las personas que habitan éstas zonas se ven obligados a sembrar en tierras que no son arables o sea que no son aptas para cultivo, sin embargo son utilizadas para producir maíz y maicillo, convirtiéndolas con estas prácticas en tierras vulnerables a la erosión. Las pendientes de las montañas de la cuenca media- alta del río Lempa, que son apenas estables para caminar, son cruzadas frecuentemente por la mano del agricultor, dejando así, desnudo el suelo y susceptible a la erosión debida al viento y a la lluvia. La continua pérdida de la productividad del suelo disminuye la producción agrícola, además la capacidad para retener agua en el embalse se reduce y consecuentemente la capacidad de generación de energía eléctrica se ve disminuida; el curso de los ríos se ve obstruido y finalmente la cantidad de tierra agrícola disminuye a niveles alarmantes. Por otro lado el método más corriente, utilizado en el país, para el tratamiento de las aguas de desecho, es la dilución natural, actualmente la A.N.D.A. estima que a nivel nacional se están arrojando a ríos y lagos 42,000 toneladas diarias de aguas residuales e industriales.

[7] Banco de Fomento Agropecuario (BFA), "Publicaciones Año-1993", 1993.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS HIDROLOGICAS.

El sistema hidrológico de El Salvador consiste en ríos, lagos, lagunas, estuarios, mantos acuíferos y el océano Pacífico. De estos recursos naturales se toma el agua para consumo humano, la agricultura, la pesca, la industria y la generación hidroeléctrica.

El río Lempa, el más grande en América Central, se origina en Guatemala y finaliza en el Océano Pacífico al Suroeste de El Salvador; en todo su recorrido que es de 389 kms., drena un área aproximada de 18,243 km², la cual cubre parcialmente los países de Guatemala, Honduras y El Salvador, este último en un área aproximada de 10,255 Km².

Aproximadamente el 70% de la energía eléctrica consumida en el país es generada por los proyectos hidroeléctricos ubicados a lo largo del río Lempa, como ya se indicó en el capítulo I de este trabajo de graduación.

Durante la crisis energética de 1990, las Centrales hidroeléctricas suplieron un máximo del 40% del total de la energía eléctrica consumida a nivel nacional en ese año.

El embalse del Cerrón Grande es el mayor de los cuatro que existen en el país y por lo tanto es considerado como crítico en el aprovechamiento del agua y la energía.

Incluyendo el área aguas arriba de la Central hidroeléctrica del Guajoyo, un total de 8,485 km² son drenados por el río Lempa y sus tributarios dentro del embalse del Cerrón Grande.

Parza Engineering Co., estimó que una tormenta pico en un año producirá un flujo de entre 1000 y 2000 m³/seg., una tormenta pico en 5 años podría producir un flujo de entre 3,000 y 5,000 m³/seg. y una en 10 años produciría entre 5,000 y 8,000 m³/seg., todo esto sobre el río Lempa, hipotéticamente sin la presa del Cerrón Grande en su ubicación actual. Los anteriores rangos de descarga fueron estimados para períodos de retorno de 2, 10 y 20 años respectivamente. El flujo máximo probable fué estimado para producir una elevación en el embalse de 249.4 m.s.n.m. pasando por los vertederos aproximadamente 11,000 m³/seg.

Uno de los mayores ríos que drena dentro de la cuenca del embalse del cerrón Grande es el río Acelhuate, el cual tiene una subcuenca con un área aproximada de 711 km²., un cauce principal de 65 kms., una pendiente media de 2.5% y su cauce principal se origina en la ciudad de San Salvador; a su vertiente se arrojan todo tipo de agua servidas, incluso el exceso del material excavado de nuevos caminos, de urbanización y de otras construcciones, es arrojado a los barrancos cuyas quebradas son afluentes de este río; hasta

la mayor parte de ripio producto del terremoto de 1986 fué a parar casi en su totalidad al Acelhuate.

Otro río tributario, el cual alimenta al río Lempa justamente donde inicia el embalse del Cerrón Grande, es el río Sucio; este tiene una subcuenca de aproximadamente 843 km²., un cause principal de 70 kms. y una pendiente media de 2.4%. El río Sucio también sufre de todo tipo de aguas servidas, las cuales son arrojados tanto en su cause principal como en sus afluentes.

Los ríos anteriores son mencionados en forma específica principalmente por su proximidad a San Salvador, la cual es una gran urbe que al servirse de éstos, los convierte en los tributarios más críticos del embalse del Cerrón Grande, con el agravante de haberseles descuidado durante los 12 años de guerra que vivió el país, encaminandolos en la ruta de la polución y convirtiendolos en grandes aportadores de sedimentos al reservorio del Cerrón Grande.

En el cuadro No.11 se presentan las características físicas e hidrológicas más relevantes de las subcuencas de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande.

3.4 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL SEDIMENTO.

El sedimento es el resultado de los procesos erosivos que a través del tiempo atacan a la superficie terrestre, este suelo perdido es transportado por los ríos y riachuelos hasta depositarse en los grandes cuerpos de agua, en nuestro caso el embalse del Cerrón Grande.

Este sedimento posee propiedades y características muy variadas, considerandose como las mas importantes las siguientes:

- a) El tamaño de las partículas.
- b) La velocidad de sedimentación de una partícula o grupo de ellas.
- c) El peso específico.

Estas propiedades y características son muy importantes, para el calculo del tiempo de sedimentación de un embalse, para determinar las dimensiones de un modelo físico, para la evaluación de la socavación, tanto local como general. Para estimar la resistencia al flujo y la tasa de transporte de sedimentos se utiliza la velocidad de sedimentación de las partículas. El peso específico de los sedimentos es otra variable que interviene en el cálculo y dimensionamiento de los canales aluviales.

DEFINICIONES.

DENSIDAD la densidad se denota con la letra ρ , y se define como la relación de la masa por unidad de volumen. La densidad de los sedimentos depende de su composición mineral. La densidad del agua se denota también con la letra ρ , para la densidad relativa de un material se puede escribir la siguiente relación, muy utilizada en el cálculo de transporte de sedimentos.

$$\rho_r = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

Donde:

ρ_s = Densidad del sedimento.

PESO ESPECIFICO. El peso específico se denota con la letra γ_s , y se define como el peso por unidad de volumen, considerando la definición de la densidad, entonces se puede escribir la siguiente relación:

$$\gamma_s = \rho_s * g$$

Donde:

g = Aceleración de la fuerza de gravedad.

El peso de una partícula sumergida en el agua, esta definido por la relación :

$$\gamma_s = \gamma_s - \gamma'$$

Donde:

\check{s} = Peso específico del agua.

El peso específico es un parámetro ampliamente utilizado en la hidráulica y en el análisis del transporte de sedimentos. Existen diferentes tipos de pesos específicos y diferentes formas de calcularlos :

a) Peso específico, $\check{s}_s = W_d / V_d$

Donde:

W_d = Peso del material sin poros.

V_d = Volumen del material sin poros.

b) Peso específico seco, para una sola partícula

$\check{s}_k = W_k / V_k$

Donde:

W_k = Peso de la partícula seca.

V_k = Volumen de la partícula seca.

c) peso específico aparente, $\check{s}_g = W_k / V_g$

Donde:

W_k = Peso de la partícula con los poros llenos de agua.

V_g = Volumen aparente (volumen del material de la partícula).

d) Peso específico medio.

$$\check{s}_o = \frac{W_k + W_o}{V_o}$$

Donde:

W_o = Peso del agua que llena los poros

GRAVEDAD ESPECIFICA Se define como la relación del peso específico de un líquido o de un sólido, con respecto al peso específico del agua a 4°C. La gravedad específica puede variar entre 2,3 hasta 7,6. El valor promedio es de 2,65.

DIAMETRO NOMINAL. Se designa con el símbolo D_s , y se define como el diámetro de una esfera, que tiene el mismo volumen que el de la partícula.

DIAMETRO DE MALLA Se define como el diámetro de una esfera con valor igual al del lado del orificio de la malla cuadrada, en la que se miden cantidades por peso de material que pasa por esa malla.

DIAMETRO DE CAIDA O DIAMETRO ESTANDAR DE CAIDA. Es el diámetro de una esfera de gravedad específica de 2.65. En un líquido en reposo, y con una temperatura de 24°C, tiene la misma velocidad uniforme terminal que la partícula.

DIAMETRO DE SEDIMENTACION El diámetro de sedimentación se define como el diámetro de una esfera de la misma velocidad de caída y de la misma gravedad específica, en el mismo fluido bajo las mismas condiciones, que las de la partícula.

VELOCIDAD DE CAIDA Es el promedio de la velocidad terminal de asentamiento, que una partícula tiene cuando cae en agua destilada, en reposo, en una extensión infinita. La velocidad de caída define la relación del transporte de sedimentos con el lecho, bancos o partículas suspendidas. Las variables que afectan a una partícula que cae en un líquido en reposo se expresan de la siguiente manera:

$$\phi(v, \rho_r, \rho_s, \mu, D_s, S_p, f, S_r, F) = 0$$

v = Velocidad de caída

ρ_r = Densidad del fluido.

ρ_s = Densidad de la partícula

μ = Viscosidad dinámica

D_s = Diámetro de la partícula

S_p = Factor de forma

f = Frecuencia de oscilación

S_r = Rugosidad de la partícula

F = Fuerza de empuje.

La fuerza de empuje F se calcula con la siguiente expresión:

$F = (\rho_s - \rho_r) * g * K_2 * D_s^3$, K_2 es una constante, cuyo valor depende de la forma de la partícula.

La fuerza de arrastre F_d , depende de diferentes factores que se expresan en la siguiente fórmula:

$$F_d = C_d * \rho_r * A * w^2 / 2$$

Donde:

C_d = Coeficiente de Arrastre

A = Area de la partícula proyectada en la dirección del movimiento de la partícula.

El área proyectada es igual a $A = K_1 D_s^2$, K_1 es una constante cuyo valor depende de la forma de la partícula.

Sin tomar en consideración a S_r , y utilizando el análisis dimensional, se puede escribir la siguiente relación:

$$C_d = \phi^2(R_w, S_p, f D_s/w, \rho_s/\rho_r)$$

Donde:

$R_w = \rho_f * w * D_s / \mu$, número de Reynolds de la partícula.

Para números de Reynolds menores que 0,1 ($R_w < 0,1$).

SEDIMENTOS COHESIVOS Y NO-COHESIVOS.

Los sedimentos, en forma muy general se pueden clasificar en sedimentos cohesivos y sedimentos no-cohesivos. La resistencia de los sedimentos cohesivos a la erosión depende de la fuerza cohesiva entre las partículas, ésta fuerza no depende de las características de la partícula aislada, estos sedimentos pueden cambiar sus propiedades por efectos físicos y químicos.

Los sedimentos no-cohesivos están formados por partículas discretas, más grandes que la de los sedimentos no cohesivos, por lo que estos sedimentos son afectados por las fuerzas hidrodinámicas, y su movimiento depende de sus características físicas como el tamaño, forma y densidad.

TAMAÑO

El tamaño es una de las más importantes propiedades de los sedimentos, no solamente porque es directamente medible, sino porque con ella están relacionadas la mayoría de las propiedades fundamentales de los mismos. El tamaño, puede ser definido por el volumen, diámetro, peso, velocidad de caída, tamaño de malla, etc. Algunas propiedades, con excepción del volumen, están afectadas también por la forma y la densidad de la partícula.

El tamaño puede se medido directamente con calibradores o mallas, o por métodos indirectos como los ópticos, fotográficos o sedimentación. El tamaño, por si solo, no es una características representativa, pero si lo es la forma de la distribución de los diferentes tamaños en las barras y los bancos de un canal o de un embalse.

TABLA DE TAMAÑOS:

SEDIMENTO DE FONDO

Prensa mediana	0.2	a	0.5 m.m.
Prensa gruesa	0.5	a	2.0 m.m.
Gravillas	2.0	a	20.0 m.m.
Guijarros	20.0	a	200.0 m.m.
Bloques			superior a 200 m.m.

TABLA DE TAMAÑOS :

SEDIMENTOS SUSPENDIDOS

Arena muy fina	0.062	a	0.125 m.m.
Limo grueso	0.031	a	0.062 m.m.
Limo mediano	0.016	a	0.031 m.m.
Limo Fino	0.008	a	0.016 m.m.
Limo muy fino	0.004	a	0.008 m.m.
Arcilla gruesa	0.002	a	0.004 m.m.
Arcilla mediana	0.001	a	0.002 m.m.
Arcilla fina	0.00024	a	0.001 m.m.

FORMA

Con este concepto se abarca todo lo que se refiere a las formas geométricas de una partícula, haciendo caso omiso de su tamaño o de su composición mineral. Partículas de diferente forma geométrica, pero del mismo volumen y de la misma densidad, pueden conducirse de forma similar, en los líquidos que están en movimiento, es decir que la forma puede ser definida en relación con el comportamiento hidrodinámico de la partícula.

ESFERICIDAD

La esfericidad es un parámetro adimensional usado para establecer las relaciones entre el fluido y la partícula que se mueve en él. La esfericidad se define como la relación que existe entre el área superficial de una esfera, que tiene el mismo volumen que el de la partícula y el área superficial de la partícula misma. Si a, b, c, son ejes perpendiculares entre si, que pasan por la partícula, a-eje mayor, b-eje intermedio, c-eje menor, Krumbein propone la siguiente expresión para la esfericidad (Ψ_p):

$$\Psi_p = (b/a) c/b$$

La esfericidad depende fundamentalmente de la composición mineral de las partículas.

REDONDEZ

Es otro parámetro adimensional muy poco utilizado en el estudio del comportamiento hidráulico de las partículas, pero que tiene mucha aplicación en el estudio de la abrasión. La redondez se define como la relación de la distancia promedio entre las puntas o filos que tiene una partícula, al radio del círculo inscrito, en el área máxima proyectada de la partícula. Utilizando el sistema de ejes anteriormente propuesto, el factor de esfericidad (S_p) tiene la siguiente expresión:

$$S_p = c / ab$$

la esfericidad y la redondez tienden a disminuir con la disminución del tamaño de las partículas.

3.4.1 MUESTRAS DEL SEDIMENTO DE FONDO Y EN SUSPENSION

3.4.1.1. MUESTRA DEL SEDIMENTO DE FONDO

Las muestras de sedimentos de fondo fueron obtenidas en las desembocaduras de los ríos Acelhuate y Sucio al embalse del Cerrón Grande. La gradación del material arroja partículas tan pequeñas como 0.0625 m.m. y tan grandes como 16 m.m., material mucho más grande se pudo observar más en el fondo, sin embargo el muestreo se limitó a tomar el material que se pudo extraer con pala manual; en el cuadro

No.12 se presenta la gradación y distribución por tamaño de las muestras de sedimentos obtenidos incluyendo un gráfico de la granulometría.

Las partículas grandes son porosas y de poco peso, características propias del material de origen volcánico, así mismo las velocidades de sedimentación son mucho más bajos que los materiales encontrados en los ríos y embalses de los Estados Unidos [8].

En forma similar en los cauces de ríos salvadoreños, la resistencia al corte es menor (por lo tanto la potencialidad para transportar sedimento es más grande), que las encontradas en depósitos no volcánicos. Tomando las pendientes fuertes de los cursos de los ríos mencionados anteriormente, su capacidad para transportar sedimentos es muy grande. Einstein (1950) describió las partículas del sedimento de fondo como aquellas que no están suspendidas en el líquido. El dijo entonces " Ellas se asientan en el fondo, esto no implica, sin embargo que no se moverán más. Esto solo significa que mientras se mueven, su peso es soportado por el fondo que no se mueve y no por el fluido.

[8]"Cuerpo de Ingenieros de La Armada de los Estados Unidos de Norteamérica, "Sedimentation in the Rio Lempa Watershed ", 1993.

En concordancia, se mueven por rodamiento, y deslizamiento en el fondo o por saltos cortos, más o menos continuos, permaneciendo en el fondo y moviéndose como carga de fondo o superficie deslizante."

Con las densidades obtenidas de las dos muestras del sedimento de fondo en los dos ríos mencionados anteriormente, se puede comprobar que el peso de las partículas no es soportado por el mismo fondo, como Einstein describió [9], mas bien por fuerzas boyantes; en consecuencia, la distancia aguas abajo que recorren las partículas antes de asentarse en el fondo, es mucho más grande por ejemplo que los ríos de los Estados Unidos. Todo el fenómeno descrito dá como resultado, un mecanismo de transporte de sedimentos rápido y eficiente en la generalidad de los ríos de El Salvador.

Subsecuentemente las pruebas de laboratorio de las muestras de sedimento al parecer sustentan el argumento referente a las densidades de los suelos salvadoreños, especialmente en la subcuenca del río Sucio.

[9]Einstein, Albert H., "Sedimentación en Ríos, Parte II", Compendio de Tecnología de Recursos del agua, Mc. Graw-Hill Book Company, 1980.

Las mediciones de la densidad fueron practicadas en cuatro diferentes rangos de tamaños para cada vertiente; menos de 0.0625 m.m.; 0.065 - 1.0m.m.; 1.0 - 16.0m.m. y mayores que 16m.m., en forma de sedimento fino, arcilla, arena y grava fina, grava y guijarros, respectivamente. Los valores de densidad obtenidos para el río Acelhuate son: 1.6 g/cm³ para sedimento fino con arcilla, 1.35 - 1.54 g/cm³ para arena, 1.33 - 1.43 g/cm³ para arena y grava fina, y 2.2 - 3.6 gr/cm³ para grava y guijarros. Los valores de densidades encontrados para las muestras del río sucio son del rango de 1.44 - 1.49 g/cm³ para sedimento fino y arcilla, 1.32 - 1.35 g/cm³ para arena y grava finas. No se encontraron partículas mas grandes en el río sucio, sin embargo, al parecer la tendencia apunta a menores valores de densidad a medida que el tamaño de la partículas aumenta, lo cual es lo opuesto a la tendencia en materiales de origen no volcánico.

Las densidades promedio para el sedimento de fondo son: 1.3 g/cm³ y 1.45 g/cm³, para el río sucio y el Acelhuate, respectivamente.

3.4.1.2 MUESTRA DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION.

Las muestras del sedimento en suspensión fueron obtenidas en dos puntos estratégicos del embalse del Cerrón Grande, el primero ubicado en el inicio del reservorio, en

un sitio conocido como Colima, exactamente en el ingreso del río Lempa al embalse, donde es evidente su ensanchamiento; y el segundo ubicado aguas abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande. Estos sitios fueron escogidos bajo el criterio de establecer un patrón de deposición del sedimento en suspensión, que ocurre al disminuir la velocidad del agua al adentrarse el río Lempa en el embalse y volverse ésta prácticamente nula en las proximidades de la cortina de la presa. El patrón de deposición se expresará en porcentaje y dará una idea cuantitativa de la cantidad del sedimento en suspensión que se deposita en el embalse debido a la baja velocidad del agua y por otra parte, como complemento, se tendrá el porcentaje del sedimento en suspensión que es desalojado por el agua turbinada de la referida Central.

Para llevar a cabo este procedimiento se estableció un programa de toma de muestras en los sitios antes mencionados durante cuatro meses del presente año (agosto, septiembre, octubre y noviembre), dando como resultado valores mensuales cuya diferencia en un mismo sitio no fue mayor del 1%, diferencia aceptable principalmente porque todas las muestras fueron tomadas en invierno y es lógico esperar un mismo valor en la tasa de deposición del sedimento durante una misma época.

También se realizaron análisis Físico-Químico de las muestras del sedimento, los cuales dan a conocer la naturaleza de éste, así como su capacidad de abrasión en los equipos electromecánicos.

Los análisis de las muestras de agua fueron realizadas por el Centro de Investigaciones Geotérmicas (CIG), el cual es una dependencia de la Comisión Ejecutiva hidroeléctrica del Rio Iempa (CEL), y los resultados de los mismos son los siguientes:

ANALISIS DE SOLIDOS TOTALES

RESULTADO PROMEDIO DE MUESTRAS TOMADAS EN COLIMA
(INICIO DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE).

SOLIDOS EN SUSPENSION = 65 PPM
SOLIDOS DISUELTOS = 137 PPM
SOLIDOS TOTALES = 202 PPM

RESULTADO PROMEDIO DE MUESTRAS TOMADAS AGUAS ABAJO DEL
EMBALSE DEL CERRON GRANDE (AGUA TURBINADA).

SOLIDOS EN SUSPENSION = 8 PPM
SOLIDOS DISUELTOS = 144 PPM
SOLIDOS TOTALES = 152 PPM

Como puede deducirse, por los resultados obtenidos en estos análisis, existe un patrón de deposición de sedimentos al interior del embalse del Cerrón Grande, el cual es un significativo 24.75% en los sólidos totales, y un 12.31 % en lo que se refiere a los sólidos en suspensión que abandonan el reservorio por el agua turbinada o por demasías en los vertederos.

3.5 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE).

El problema de la erosión ha sido estudiado en diversos países por los especialistas en conservación de suelos durante muchos años, llegando a reconocerlo, como un serio problema agrícola-ambiental, por lo que se ha tratado de establecer mejores métodos, para calcular las pérdidas de suelo.

El cálculo de las pérdidas de suelo mediante ecuaciones empíricas se ha convertido en un instrumento valioso para los estudios en la conservación de los suelos, dichas ecuaciones se originaron a partir de estudios y técnicas desarrolladas a lo largo de muchos años, como resultado de la creciente comprensión del proceso de erosión.

Los primeros estudios cuantitativos en América los inició el servicio Forestal de los Estados Unidos en 1915,

despertando un interés generalizado, por los peligros de la erosión del suelo. Los primeros resultados fueron de tipo cualitativo, pero se obtuvo la noción elemental de los factores que afectaban a la erosión: la introducción del impacto de las gotas de lluvia y la acción mecánica de las mismas fué publicado por Laws en 1940 y Ellison en 1947. La primera ecuación empírica fue presentada por Zingg en 1940, quien se basó en el grado y la longitud de la pendiente.

La relación de las características de precipitación pluvial, con cantidad de suelo erosionado, fue introducida por Musgrave en 1947, determinando una ecuación donde la pérdida era proporcional a la máxima precipitación pluvial en 30 minutos, depurando los exponentes factoriales de inclinación y longitud de pendiente e incluyendo un factor de erodabilidad inherente al suelo junto a un factor de cubierta vegetal.

En 1954 las investigaciones se consolidaron en un esfuerzo cooperativo que tenía por objeto superar muchas de las desventajas inherentes de los proyectos de investigación local o regional. Se analizaron los datos de investigaciones sobre erosión en mas de 8,000 parcelas-año de 36 localidades de 21 estados de los Estados Unidos. Estos datos fueron obtenidos de parcelas rectangulares seleccionadas por su uniformidad en suelo y pendiente, éstas fueron generalmente de 40.47 a 888.95 m² de área y de 21 a 27 m. de largo.

Wischmeier seleccionó un grupo de 19 variables independientes, todas midiendo características combinadas, para establecer una correlación múltiple simultánea.

Wischmeier y Smith en 1958 publicaron los resultados obtenidos de analizar todas esas variables, sus interacciones y relaciones con la pérdida de suelo.

De todo ello nació una nueva ecuación, mucho más exacta, considerada de uso Universal, pero su empleo depende de la existencia de datos aplicables a cada localidad. Esta nueva ecuación mejora las predicciones de la pérdida de suelo en un lugar determinado, sin alterar profundamente los conceptos fundamentales y el procedimiento de aplicación de las ecuaciones antiguas.

Un modo nuevo de calcular la capacidad que tienen las lluvias de producir erosión a lo largo de un año constituye el fundamento de esta ecuación y explica gran parte de su adaptabilidad a circunstancias diversas. La nueva ecuación considerada como el método de mayor uso a nivel mundial es llamada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

La USLE desarrollada como el método de predicción de pérdida anual de suelos, es la más utilizada en los Estados Unidos, y se expresa así:

$$A = R K L S C P \text{ (Ton/Ha/año)}$$

Donde:

A : Promedio anual de pérdida de suelo

R : Factor de erosividad por lluvias.

K : Factor de erodabilidad de suelos

L : Factor de longitud de pendiente

S : Factor de inclinación o gradiente de pendiente.

Ambos factores, L y S, afectan sustancialmente el grado de erosión del suelo por el agua, los dos efectos han sido investigados separadamente, sin embargo, se consideran como un único factor LS por estar relacionados con la topografía del terreno.

C : Factor de manejo de cultivos

P : Factor de prácticas de control de erosión

Los factores de la USLE se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada parcela estándar, la cual consistía en un terreno con una longitud de 22.13 m., una pendiente uniforme del 9% en sentido longitudinal, en barbecho continuo.

Dentro de las limitaciones que esta fórmula puede presentar, se encuentra que fue diseñada para medir la erosión laminar únicamente, y que el suelo de los lugares de prueba estaba sin vegetación alguna, rastrillado en el sentido de la

pendiente, no presentando una concentración de escorrentía que hubiese producido una erosión en surcos [10].

Para la aplicación de la USLE hay que tener en cuenta que cada región de terreno involucra combinaciones dadas de condiciones, las cuales modifican el grado de erosión del suelo: Esto incluye el patrón local de lluvias, longitud de la estación de crecimiento, características del suelo, erosión anterior, historia del uso de la tierra, y topografía.

Debido a ciertas limitaciones en la aplicación de la USLE, se propusieron varias modificaciones, una de las cuales se utilizará en este Trabajo de Graduación, escogiéndose la que más se apega al cálculo de la pérdida de suelo en la cuenca del embalse del Cerrón Grande.

3.5.1 ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) fué modificada por Williams y Berndt en 1976 para predecir la producción de sedimentos en las cuencas acuíferas, ya que

[10]M.J., Kirkby & R.P.C., Morgan, "Erosión de Suelos",
Editorial John Wiley & Sons, Ltd., 1980.

ésta se limitaba a que su aplicación principal era medir la erosión laminar únicamente, y tomaba en cuenta que el suelo en los lugares de prueba estaba sin vegetación alguna (Barbecho continuo).

El uso de la USLE se amplió de tal manera, que se pudo estimar la erosión en una cuenca mediante la evaluación de los sedimentos que pierde anualmente, para lo cual se introdujeron modificaciones al factor R de la misma.

El factor R llamado también "Índice de Erosión" es una medida de la fuerza erosiva de la lluvia, su cálculo en la USLE se realiza como el promedio anual de la suma de los productos de la energía cinética de cada tormenta multiplicada por la intensidad máxima de la misma para una duración de la lluvia de 30 min.

$$R = \frac{E * I30}{100} \quad (Jm^2 * cm. * mmh^{-1})$$

Pero la obtención de este factor se hace muy laboriosa, ya que requiere considerar un período mínimo de 22 años de datos meteorológicos y además es necesario calcularlo para cada tormenta individual, por esta razón principalmente fué sustituido por un "Factor de Escorrentía", el cual da lugar a la nueva Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) :

$$A = 11.8 (V * Q_p)^{0.56} * K * C * P * LS$$

ok!!

Donde :

A : Cantidad de sedimento producido en una cuenca en Ton./evento.

V : Volumen de escorrentía superficial de la cuenca en M3.

Qp : Caudal pico máximo para la cuenca en M3/seg.

K,C,P,LS : igual definición que en la USLE.

Esta ecuación sera aplicada a cada una de las subcuencas de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grandé, con la finalidad de determinar la cantidad potencial de sedimentos aportados al embalse por cada una de ellas.

3.5.2 METODO PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS QUE FORMAN PARTE DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

La Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) es actualmente el procedimiento más riguroso y práctico para predecir la pérdida de suelo en una cuenca debido ha la erosión hídrica superficial. Como se mencionó anteriormente, esta ecuación está conformada por factores múltiples contribuyentes, de los cuales se hará a

continuación una descripción más completa y se planterarán los métodos de cálculo que se utilizarán en este trabajo de graduación para determinarlos.

3.5.2.1 FACTOR DE ESCORRENTIA $[11.8(V*Qp)^{0.56}]$

Este factor es determinado por un evento lluvioso considerado, para nuestro caso se utilizará la tormenta ocurrida los días 27 y 28 de agosto de 1988, ya que como se mencionó en el Capítulo II, fué una lluvia uniforme a nivel nacional y en consecuencia también lo fué en el área en estudio (cuena del embalse del Cerrón Grande).

CALCULO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL (V)

El Volumen de Escorrentía superficial se determinará en base al método del Hidrograma Triangular, el cual se basa en el análisis de una serie de cuencas consideradas como representativas, lo que permite agruparlas de tal manera que su comportamiento ante el estímulo del evento meteorológico extremo sea similar. Una vez agrupadas se logra establecer una mejor relación entre los parámetros analizados.

El Volumen de Escorrentía o Lámina de lluvia efectiva, (V) depende de el Volumen de Precipitación (Pb) y del

Volumen de Almacenamiento que está disponible por retención. La Retención Actual (F) es la diferencia entre el Volumen de Precipitación y la escorrentía. Sin embargo, un cierto Volumen de Precipitación en el comienzo de la tormenta, el cual es llamado Abstracción Inicial (Ia), no aparece como parte de la escorrentía. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), asume la siguiente relación lluvia-escorrentía:

$$\frac{F}{R_m} = \frac{V}{P_b - I_a} \quad (1)$$

En donde (R_m) es igual a la Retención Máxima Potencial. La Retención Actual, cuando la abstracción inicial es considerada, es :

$$F = (P_b - I_a) - V \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación (2) en la (1) se obtiene lo siguiente:

$$\frac{(P_b - I_a) - V}{R_m} = \frac{V}{P_b - I_a} \quad (3)$$

Reordenando la ecuación (3) para V, se tiene:

$$V = \frac{(P_b - I_a)^2}{(P_b - I_a) + R_m} \quad (4)$$

Los factores de la ecuación (4) son mejor comprendidos cuando son observados como parte de la curva masa.

La abstracción inicial es una función del uso de la tierra, su conservación y condición, interceptación, infiltración y tipo de almacenamiento, y antecedentes sobre la humedad del suelo. Un análisis empírico ha sido perfeccionado para el desarrollo de la relación lluvia-escorrentía, y la siguiente fórmula fué encontrada como la mejor estimación de I_a :

$$I_a = 0.2 R_m \quad (5)$$

Reordenando el desarrollo de la ecuación (4) el resultado sería el siguiente:

$$V = \frac{(P_b - 0.2 R_m)^2}{P_b + 0.8 R_m} \quad (6)$$

Mientras la ecuación (4) tenía 2 incógnitas (I_a) y (R_m), ya que (P_b) será conocido tal como se indica más adelante; la ecuación (6) ha sido reducida a una sola incógnita, (R_m).

Estudios empíricos indican que (R_m) puede ser estimada como:

$$R_m = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (7)$$

En donde CN es El Número de Curva de Escorrentía, el cual es función del uso de la tierra, antecedentes sobre la humedad del suelo, y otros factores que afectan la retención y la escorrentía.

El valor de la lámina precipitada (Pb) se encontrará a partir de la figura No.11 del Capítulo II, conociendo el área de la subcuenca que se esté analizando y sabiendo también que la duración será igual al tiempo de concentración (Tc) de la misma; calculandose Tc de la siguiente manera:

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5 L_c}{0.85 \sqrt{H_m}}$$

donde:

Tc = Tiempo de concentración de la subcuenca en horas.

A = Area de la subcuenca en Km².

Lc = Longitud del cauce más largo en Kms.

Hm = Elevación media de la subcuenca en metros.

Los datos para evaluar esta ecuación se tomarán del cuadro No.11 .

ESTIMACION DEL NUMERO DE CURVA (CN)

El volumen y la tasa de escorrentía dependen de un factor meteorológico y de las características de la cuenca, y la estimación de la escorrentía requiere un índice que represente estos 2 factores. El volumen de la precipitación ① es probablemente la característica meteorológica más importante en la estimación del volumen de la escorrentía. El tipo de suelo, uso de la tierra y las condiciones hidrológicas de la cobertura, son los factores de la cuenca

que tienen el más significativo impacto en la estimación del volumen de escorrentía. Los antecedentes de la humedad del suelo son también factores que influyen en esto.

El Servicio de Conservación de Suelos de los E.E.U.U. ha desarrollado un índice, el cual fué llamado "El Número de Curva de Escorrentía" (CN), que representa el efecto hidrológico del suelo, uso de la tierra, clase de tratamiento agrícola, condiciones hidrológicas y antecedentes de la humedad del suelo. Estos factores pueden ser obtenidos por medio de mediciones de suelo, investigaciones en el lugar y mapas de uso del suelo.

El SCS ha desarrollado también un sistema de clasificación de suelos, consistente en 4 grupos, los cuales están identificados con las letras A, B, C y D; las características asociadas con estos grupos son:

Grupo A: arenas profundas y sedimentos aglomerados

Grupo B: arenas margosas

Grupo C: arcillas margosas, arena superficial, suelos bajos en contenidos orgánicos y suelos altos en contenidos de arcillas.

Grupo D: arcillas con alta plasticidad y ciertos suelos salinos.

La clasificación se completa con 3 factores más: uso de la tierra, prácticas agrícolas y condiciones hidrológicas. Hay aproximadamente 15 clases diferentes de usos de la tierra, los cuales están identificados en el cuadro No.13, el cual nos servirá para estimar el Número de Curva. El uso agrícola de la tierra está generalmente subdividido por tratamientos y prácticas. Las condiciones hidrológicas reflejan el nivel del manejo de la tierra, éste está separado por 3 clases: pobre, regular y bueno. No todos los usos de la tierra están separados, por tratamientos o condiciones.

El cuadro No.13 muestra una compilación de los CN, estos aparecen para diferentes usos de la tierra, tratamientos y condición hidrológica, valores separados se muestran para cada grupo de suelo.

Los valores de CN serán determinados para cada subcuenca en la etapa del cálculo del factor de Cultivos (C) de la MUSLE, ya que estos 2 están íntimamente ligados entre sí.

CALCULO DEL CAUDAL PICO MAXIMO (Qp)

El caudal pico máximo o escorrentía máxima (Qp) será calculado en base al método del Servicio de Conservación de

Suelos de los E.E.U.U., o sea por medio del Hidrograma Triangular y se obtiene por medio de la expresión:

$$Q_p = \frac{0.21 V * A}{T_p}$$

ok!!

donde:

Q_p = Caudal Pico Máximo en M³/seg.

V = Volumen de Escorrentía o Lluvia efectiva en mm.

T_p = Tiempo de pico en horas. (tiempo desde el inicio de la tormenta hasta Q_{max} .)

$$\text{Pero sabemos que } T_p = \frac{D}{2} + T_l$$

donde:

T_p = Tiempo de pico en horas.

D = Duración efectiva de la tormenta en horas.

T_l = Tiempo de retardo en horas.

Como se sabe la Duración efectiva de la tormenta no puede ser mayor que el tiempo de concentración, por lo tanto para aplicar la ecuación anterior, se usará $D = 2 T_c$, para cuencas cuyo T_c sea mayor o igual a 4 horas, de lo contrario se asumirá que $D = T_c$ y en tal caso si utilizamos T_l en vez de T_c y hacemos $T_l = 0.6 T_c$, obtendremos:

$$D = T_c = \frac{T_l}{0.6} = 1.67 T_l$$

y en ese caso T_p será:

$$T_p = \frac{1.67 T_1}{2} + T_1 = 1.84 T_1$$

reemplazando este valor para Q_p , resulta:

$$Q_p = \frac{0.21 V * A}{1.84 T_1} = \frac{0.114 V * A}{T_1}$$

en la cual :

Q_p : en $m^3/seg.$

V : en $mm.$

A : en $Km^2.$

T_1 : en horas.

3.5.2.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (k).

El factor (K) de la MUSLE es una descripción cuantitativa de la erodabilidad inherente de un suelo determinado. Este factor refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos. Las propiedades del suelo que afectan la tasa de infiltración, como permeabilidad, capacidad hídrica total, dispersión, abrasión y fuerzas de transporte también afectan la erodabilidad. Para un suelo determinado, el factor de erodabilidad del suelo (K), es la tasa de erosión por unidad de índice de erosión a partir de una parcela estandar de

22.13 metros de longitud y 9 por ciento de pendiente en barbecho continuo.

Se hicieron mediciones directas de (K) para 23 tipos principales de suelos en los E.E.U.U.. Después de estas mediciones iniciales, se aproximaron los valores de (K) para otros suelos considerando las características del suelo en comparación con los suelos medidos. Se han realizado otras mediciones directas en muchas otras localidades en todo el mundo.

La medición directa del factor (K) requiere una cantidad considerable de tiempo y también de equipo, además de que es costoso llevarla a cabo. En un intento por eliminar este procedimiento, se realizó un estudio para describir el factor K por medio de 15 propiedades del suelo y sus interacciones. Se desarrolló una ecuación de regresión múltiple de 24 términos y se consideró válida para una gama amplia de suelos de textura media. Sin embargo fué demasiado complicada para su uso general. Esta deficiencia, además de la investigación complementaria, precipitó el desarrollo del Nomograma sobre la erodabilidad del suelo (ver Figura No.24). ✓

El Nomograma nos será de mucha utilidad para conocer el factor (K) de los suelos de las diferentes subcuencas de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande,

para ésto se hará una breve descripción del las partes que componen el Nomograma para la erodabilidad del suelo y posteriormente se describirá su uso.

El Nomograma está diseñado de tal forma que solo se necesita conocer cinco parámetros del suelo: Porcentaje de limos (0.002-0.05 mm.) más arena muy fina (0.05-0.10 mm.), porcentaje de arena (0.10-2.0 mm.), contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad; los cuatro últimos están representados por igual número de familias de curvas y el primero por una escala numérica. ✓
ok

El proceso de cálculo del factor (k) comienza introduciéndose en el Nomograma con el valor del porcentaje de limo más arena muy fina en forma horizontal, luego se interseca la familia de curvas del porcentaje de arena y se continúa en forma vertical hasta intersectar a la familia de curvas del porcentaje de materia orgánica, enseguida y en forma horizontal se continúa, pudiéndose en este momento obtener una primera aproximación del valor de (K), a continuación se interseca la familia de curvas de la estructura del suelo y se sigue en forma vertical hasta intersectar a la familia de curvas de la permeabilidad, una vez echo este recorrido se finaliza en forma horizontal hasta llegar a la escala del valor final del factor (K). Para poder aplicar el Nomograma de erodabilidad del suelo en este trabajo de graduación se contó con la información

pertinente para cada subcuenca a estudiar (ver cuadro No.14) , la cual fué recolectada por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos y proporcionada por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL).

3.5.2.3 FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L), Y EL FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

La inclinación del terreno es uno de los factores importantes de la erosión del suelo. En las tierras llanas, la erosión provocada por el agua es generalmente inapreciable, por el contrario puede tenerse problemas de sedimentación. A medida que la pendiente de los terrenos aumenta , aumenta la erosión. Los suelos arenosos, que sufren poco la erosión cuando su declive es pequeño , están sujetos a una erosión intensa cuando dicho declive es grande. Todos los suelos de pendiente considerable están sometidos a la erosión por salpicadura con un claro desplazamiento de partículas de suelo en sentido descendente (ver figura No.25).

Según datos recogidos en los Estados Unidos resulta que la relación entre la pérdida de suelo y la longitud del declive de un terreno es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de la longitud del declive, para los suelos en que

la velocidad del escurrimiento no es afectada por esta longitud.

Wischmeier y Smith afirman, que cuando el agua desciende por un terreno inclinado se pierde más suelo en la parte inferior que en la parte superior del mismo; ésto se debe al aumento de velocidad que el flujo de agua adquiere en la parte inferior del terreno provocando mayor arrastre de las partículas del suelo.

Una dificultad que surge al determinar la pérdida de suelo para una longitud del declive dada es la de medir esta longitud. La longitud del declive se mide desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido; en cuanto al gradiente de la pendiente se puede definir como el campo o segmento de pendiente, expresado generalmente como un porcentaje.

Los efectos de la longitud y gradiente de pendiente se representan en la MUSLE como (L) y (S) respectivamente, sin embargo a menudo se evalúan como un factor topográfico único (LS).

El factor (L) fué establecido a partir de una parcela estandar de 22.13 metros por Weischmeier y Smith en 1965, estableciendo la siguiente relación matemática:

$$L = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m$$

Donde:

L = Factor de longitud de pendiente.

X = Longitud de pendiente en metros.

m = exponente.

Las recomendaciones actuales para m son:

m= 0.5 si la pendiente es mayor o igual a 5 %

m= 0.4 si la pendiente es menor al 5% y mayor que el 3%

m= 0.3 si la pendiente es menor o igual al 3% y mayor o igual al 1%

m= 0.2 si la pendiente es menor al 1%

Wischmeier y Smith determinaron en el año de 1957, que la pérdida de suelo estaba correlacionada con una descripción parabólica del efecto de la inclinación de la pendiente. Normalizando esta ecuación con una pendiente de parcela estandar del 9% dió por resultado una descripción del factor del gradiente de pendiente:

$$S = \frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}$$

Donde:

S = Factor de Gradiente de pendiente.

s = Gradiente en porcentaje.

La ecuación anterior es recomendada para el factor de gradiente de pendiente, la cual relacionada con el Factor de longitud de pendiente da como resultado:

$$LS = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

En la cual todos los términos se han definido previamente, sin embargo, para efectos de este Trabajo de Graduación se utilizará un auxiliar conveniente para la determinación del Factor (LS) en las subcuencas de los principales afluentes al río Lempa y al embalse del Cerrón Grande, el cual es la figura No.26, en donde se desarrolla graficamente la ecuación para el Factor Topográfico (LS).

3.5.2.4 FACTOR DE MANEJO DE CULTIVOS (C).

Las pérdidas de tierra están ligadas a la cobertura vegetal del suelo ; ellas son reducidas cuando el suelo es cubierto de una vegetación permanente (bosques, pastos, etc.), por el contrario son muy fuertes cuando el suelo está desnudo , sobre todo si ha sido trabajado para cultivos; es

por esta razón que Wischmeier ha dado al índice de cultivo el valor máximo de $C=1$, en el caso de un terreno en barbecho.

El cálculo del factor (C) es en realidad bastante complejo, la erosión varía no solamente con los cultivos sino también, para cada cultivo con las diferentes fases del ciclo vegetativo .

En efecto, la planta protege más o menos bien el suelo según su naturaleza, pero también para una misma planta, según su densidad y su talla.

Este factor incluye los efectos interrelacionados de la cubierta, la secuencia de cultivos, el nivel de productividad, duración de la estación de crecimiento, prácticas de cultivo, manejo de residuos, y distribución de la precipitación pluvial.

Elwell y Stocking en el año de 1976 presentaron un enfoque de clasificación de la cubierta por cultivo para las condiciones probadas en Rhodesia. Los resultados de este enfoque incluyeron una relación de la pérdida de suelo en función de la cubierta vegetal estacional media; entre tanto Roose en el año de 1977 formula valores promedio anuales del Factor (C), para la cubierta vegetal y técnicas de cultivo de la zona de Africa Occidental (ver cuadro No.15);

encontrándose en estos una enorme similitud en cuanto al tipo de cultivos y vegetación existente en nuestro país, razón por la cual serán tomados como parámetros de cálculo del Factor de cultivos (C).

3.5.2.5 FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

Este factor representa la acción que los distintos tipos de obras de protección ejercen sobre la erosión. De la misma manera que con los factores anteriores, éste fué calculado experimentalmente y solo para ciertos tipos de obras de protección, la mayoría de ellas corresponden a obras agrícolas y no civiles .

Los tratamientos antierosivos logran una reducción más o menos fuerte de la erosión; ellos son necesarios cuando las pérdidas de suelo sobrepasan los valores de tolerancia. Así el valor máximo que (P) puede tomar es 1, principalmente para cultivos realizados en el sentido de la pendiente, ya que éste es un factor de reducción de pérdida en la MUSLE.

Los métodos de control de la erosión que por lo general se incluyen en este factor son la delimitación de los contornos, el cultivo en franjas de contorno, y el terraceo.

La labranza de conservación, la rotación de cultivos, los tratamientos de fertilización y la retención de los residuos, son métodos importantes en el control de la erosión; sin embargo, estas prácticas de cultivo se incluyen en los factores de manejo de cultivo descritos anteriormente.

Al igual que el factor anterior, éste se calculará en base a una tabla (ver cuadro No.16), la cual fué presentada en un seminario celebrado en Lafayette, Indiana, en el año de 1956, en donde se calcularon los valores del Factor de Prácticas de control de erosión., para el cultivo a nivel, y en fajas siguiendo las curvas de nivel, también se recomendaron los factores cultivo en fajas para el cultivo a nivel en terrenos con terrazas.

3.5.3 APLICACION DE LA MUSLE EN LAS SUBCUENCAS DE LOS PRINCIPALES RIOS AFLUENTES AL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

Para poder establecer el porcentaje del suelo perdido por la cuenca del embalse del Cerrón Grande, debido al fenómeno de la erosión, que se ha depositado en el fondo del mismo en un periodo de aproximadamente 16 años (1976-1992), es necesario conocer en primer lugar la potencialidad de pérdida de suelo de cada una de las subcuencas de los

principales ríos afluentes al Lempa, y que a su vez son tributarios del embalse mencionado, para tal propósito, se analizarán individualmente las áreas aportadoras de sedimento aplicandoles la MUSLE a cada una de ellas, totalizandose posteriormente los resultados; en segundo lugar será necesario conocer la cantidad de sedimento que realmente ha llegado al embalse, para así poder establecer un parámetro de comparación entre la tasa de pérdida de suelo en la cuenca y la tasa de sedimentación en el reservorio, esta comparación se realizará en el capítulo IV de este Trabajo de Graduación.

3.5.3.1 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
 " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO: SUQUIAPA (VER FIG. No. 27)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 25 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 17.80 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 11.71 \text{ mm.} = 5,149.03 \text{ M3.}$$

$$CN = 93.45$$

$$Pb = 25.00 \text{ mm.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 439.60 Km².

$$Tc = \frac{3.64 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 2.18 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 268.77 \text{ M3/SEG}$$

$$V = 11.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 185.54 \text{ M3/SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.37$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 17

$$C = 0.47$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO SUQUIAPA.

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{43,138.10 \text{ TON / EVENTO}}$$

3.5.3.2 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
 " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO : ACELHUATE (VER FIG. No. 28)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 29 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 17.86 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8s} = 14.94 \text{ mm.} = 10.619.58 \text{ M3.}$$

$$CN = 93.43$$

$$Pb = 29.00 \text{ mm.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 711.00 Km².

$$Tc = 5.00 \text{ Hrs.} \quad TL = 0.6 Tc = 3.00 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 403.54 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 14.94 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 278.59 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 7.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 18

$$C = 0.56$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.80$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO ACELHUATE.

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = 43.572.68 \text{ TON / EVENTO}$$

MUS-ACEL

3.5.3.3 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : GUAJOYO (VER FIG. No. 29)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 30 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 11.52 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 19.56 \text{ mm.} = 4,199.01 \text{ M3.}$$

CN

CN = 95.66

Pb = 30.00 mm.

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 214.70 Km².

$$Tc = \frac{3.96 \text{ Hrs.}}{1} \quad TL = 0.6 Tc = 2.38 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 201.47 \text{ M3 / SEG}$$

V = 19.56 mm.

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 139.08 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.23$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.20$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 19

$$C = 0.64$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.75$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE) .

SUBCUENCA DEL RIO GUAJOYO .

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{22,283.41 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-GUAJ

3.5.3.4 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
 " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO : TAMULASCO (VER FIG. No. 30)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 15 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 9.76 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 7.46 \text{ mm.} = 1,911.03 \text{ M3.}$$

$$CN = 96.30$$

$$Pb = 15.00 \text{ mm.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 256.00 Km².

$$Tc = \frac{1.96 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.18 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 185.25 \text{ M3/SEG} \quad V = 7.46 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 127.89 \text{ M3/SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 14.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 20

$$C = 0.51$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO TAMULASCO .

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{28,162.95 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-TAMU

**3.5.3.5 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO : TAHUILAPA (VER FIG. No. 31)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA .(V)

Pb = 17 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 11.72 \text{ mm.}$$

CN = 95.59
 Pb = 22.00 mm.

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 12.31 \text{ mm.} = 1,699.20 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 137.98 Km².

$$Tc = \frac{2.97 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.78 \text{ Hrs.}$$

Si Tc < 4 Hrs. $Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 108.70 \text{ M3 / SEG}$

V = 12.31 mm.

Si Tc ≥ 4 Hrs. $Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 75.04 \text{ M3 / SEG}$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.32$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 18.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 21

$$C = 0.44$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO TAHUILAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{23,945.99 \text{ TON / EVENTO}}$$

3.5.3.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO: METAYATE (VER FIG. No. 32)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 27 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 17.98 \text{ mm.}$$

$$CN = 93.39$$

$$Pb = 27.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 13.24 \text{ mm.} = 2,484.55 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 187.70 Km².

$$Tc = \frac{3.04 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.82 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 155.28 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 13.24 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 107.20 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.26$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 3.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 22

$$C = 0.55$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.60$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO METAYATE

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{4,762.20 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-META

3.5.3.7 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : NUNUAPA (VER FIG. No. 33)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 15 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 11.63 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 6.61 \text{ mm.} = 639.57 \text{ M3.}$$

$$CN = 95.62$$

$$Pb = 15.00 \text{ mm.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 96.80 Km².

$$Tc = 1.15 \text{ Hrs.} \quad TL = 0.6 Tc = 0.69 \text{ Hrs.}$$

Si Tc < 4 Hrs. $Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 105.67 \text{ M3 / SEG}$

$$V = 6.61 \text{ mm.}$$

Si Tc ≥ 4 Hrs. $Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 72.95 \text{ M3 / SEG}$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.26$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 9.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 23

$$C = 0.09$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO NUNUAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = 1.133.16 \text{ TON / EVENTO}$$

MUS-NUNU

**3.5.3.8 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "
POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO: QUEZALAPA (VER FIG. No. 34)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 20 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 12.11 \text{ mm.}$$

$$CN = 95.45$$

$$Pb = 20.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 10.41 \text{ mm.} = 4.24681 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

$\Lambda = 408.00 \text{ Km}^2.$

$$Tc = \frac{2.88 \text{ Hrs.}}{\Lambda} \quad TL = 0.6 Tc = 1.73 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * \Lambda}{TL} = 280.17 \text{ M3 / SEG} \quad V = 10.41 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * \Lambda}{TL} = 193.42 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 11.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 24

$$C = 0.45$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO QUEZALAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{37.167.28 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-QUEZ

3.5.3.9 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : GRANDE DE CHALATENANGO (VER FIG. No 35)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 18 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 17.98 \text{ mm.}$$

$$CN = 93.39$$

$$Pb = 27.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2 s)^2}{Pb + 0.8 * s} = 13.24 \text{ mm.} = 1.728.33 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 130.57 Km².

$$Tc = \frac{2.54 \text{ Hrs.}}{1} \quad TL = 0.6 Tc = 1.52 \text{ Hrs.}$$

$$V = 13.24 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 129.28 \text{ M3 / SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 89.25 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 4.70$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 25

$$C = 0.47$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO GRANDE DE CHALATENANGO

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{5.056.75 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-CHAL

3.5.3.10 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : MOJAFLORES (VER FIG. No. 36)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 28 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 14.53 \text{ mm.}$$

$$CN = 94.59$$

$$Pb = 28.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 15.89 \text{ mm.} = 810.58 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 51.00 Km².

$$Tc = \frac{1.50 \text{ Hrs.}}{1.50} \quad TL = 0.6 Tc = 0.90 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 102.67 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 15.89 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 70.88 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.29$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 26

$$C = 0.36$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.80$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO MOJAFLORES

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{4,488.51 \text{ TON / EVENTO}}$$

3.5.3.11 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : SUCIO (VER FIG. No. 37)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 36 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 19.03 \text{ mm.}$$

$$CN = 93.03$$

$$Pb = 36.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 20.23 \text{ mm.} = 16,944.45 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 837.44 Km².

$$Tc = \frac{6.92 \text{ Hrs.}}{TL} = 4.15 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 465.24 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 20.23 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 321.18 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.32$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 6.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 27

$$C = 0.48$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO SUCIO

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{45,035.52 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-SUCI

3.5.3.12 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : OSTUA (VER FIG. No. 38)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 50 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 12.72 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} CN &= 95.23 \\ Pb &= 50.00 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 37.42 \text{ mm.} = 65,830.06 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 1759.10 Km².

$$Tc = \frac{10.14 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 6.08 \text{ Hrs.}$$

$$V = 37.42 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 1,233.50 \text{ M3 / SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 851.55 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.38$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 3.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 28

$$C = 0.19$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.60$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO OSTUA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{39,072.71 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-OSTU

3.5.3.13 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO: CUSMAPA (VER FIG. No. 39)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 20 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 11.83 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 10.55 \text{ mm.} = 2,333.52 \text{ M3.}$$

	CN
CN =	95.55
Pb =	20.00 mm.

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 221.10 Km².

$$Tc = 2.21 \text{ Hrs.} \quad TL = 0.6 Tc = 1.33 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 200.62 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 10.55 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 138.50 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.24$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 9.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 29

$$C = 0.15$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO CUSMAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{5,439.59 \text{ TON / EVENTO}}$$

3.5.3.14 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO: ANGUE (VER FIG. No. 40)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 18 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 12.28 \text{ mm.}$$

$$CN = 95.39$$

$$Pb = 18.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 8.69 \text{ mm.} = 5.102.13 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 587.40 Km².

$$Tc = \frac{2.87}{\text{Hrs.}} \quad TL = 0.6 Tc = 1.72 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 337.77 \text{ M3/SEG}$$

$$V = 8.69 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 233.18 \text{ M3/SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 3.80$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 30

$$C = 0.18$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO ANGUE

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = 4,915.46 \text{ TON / EVENTO}$$

MUS-ANGU

3.5.3.15 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL " EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : SOYATE (VER FIG. No. 41)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 20 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 15.67 \text{ mm.}$$

$$CN = 94.19$$

$$Pb = 20.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 8.74 \text{ mm.} = 969.62 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 110.89 Km².

$$Tc = \frac{1.71 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.03 \text{ Hrs.}$$

$$V = 8.74 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 107.74 \text{ M3 / SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 74.38 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.25$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 5.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 31

$$C = 0.38$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO SOYATE

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{2,536.83 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-SOYA

3.5.3.16 CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
 " EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO: VALLE DEL LEMPA (VER FIG. No. 42)

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 35 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 11.83 \text{ mm.}$$

$$CN = 95.55$$

$$Pb = 35.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 23.95 \text{ mm.} = 34,649.05 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 1446.61 Km².

$$Tc = \frac{6.87 \text{ Hrs.}}{1} \quad TL = 0.6 Tc = 4.12 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 958.27 \text{ M3/SEG} \quad V = 23.95 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 661.54 \text{ M3/SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.36$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 5.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 32

$$C = 0.47$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO VALLE DEL LEMPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{92,489.00 \text{ TON/ EVENTO}}$$

MUS-VALL

3.5.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACION DE LA MUSLE EN LAS SUBCUENCAS DE LOS PRINCIPALES RIOS AFLUENTES AL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

Los resultados obtenidos de la aplicación de la MUSLE a las subcuencas de los principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande se pueden observar en el Cuadro No.33 , en donde tambien se muestra en forma individual la potencialidad que tiene cada una de las subcuencas de aportar sedimentos al reservorio antes mencionado.

De manera general se determinó que el aporte por un evento de diseño es de 425,573.87 Ton./Evento, entonces si se toma como base el Almanaque Salvadoreño, donde para un período de registro de 48 años para lluvias ubicadas dentro de un rango de 10 mm. a 50 mm. (valores entre los cuales la lluvia es capaz de producir el arrastre de sedimentos), se tienen un total de 89 eventos de diseño (como el considerado) al año, se puede entonces calcular el total de la pérdida de suelo de la cuenca estudiada, de la siguiente manera :

$$A = 425,573.87 \text{ Ton./Evento}$$

$$425,573.87 \text{ Ton./Evento} \times 89 \text{ Evento/Año}$$

$$\text{Pérdida de Suelo} = 37,876,074.43 \text{ Ton./Año}$$

Pérdida de Suelo = 31,563,395.36 m³/Año [11]

Pérdida de suelo = 31,563,395.36 m³/Año x 16 Años

Pérdida Total de Suelo = 505,014,325.70 m³

3.6 TOLERANCIAS EN LA PERDIDA DE SUELO

La tolerancia en la pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad de la tierra. Las tolerancias para suelos específicos en los Estados Unidos han sido analizadas en varios seminarios en donde los científicos del suelo han evaluado colectivamente los suelos y luego recomendado los valores de tolerancia. Por lo general a los suelos profundos, de textura media, moderadamente permeables, y que tiene características de subsuelo favorables para el crecimiento de las plantas, se les asignaron tolerancias de 1.1 Kg/m²/año o lo que es lo mismo 1,100 Ton./Km²/Año. A los suelos con una zona radical superficial u otras características de detrimento se les asignaron tolerancias inferiores.

[11]Harza Engeneering Co., (factor de conversión de 1 m³ de sedimento = 1.2 Ton.), "SUPPLEMENTAL REPORT - B, CEL EXPANSION 1977-1985", Diciembre de 1974.

La tolerancia a la pérdida de suelo para un suelo específico se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos. La MUSLE se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar como los cambios en las prácticas agrícolas pueden aplicarse para reducir la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia.

En el caso de la Cuenca media-alta del río Lempa o sea la cuenca del embalse del Cerrón Grande se ha determinado que pierde 37,876,074.43 Ton./Año, y tomando en cuenta que su área de drenaje es de 8,485 Km², se tendría entonces que la pérdida de suelo equivaldría a 4,463.89 Ton./Km²/Año durante el período en que la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande a funcionado, cantidad que en definitiva supera la tolerancia establecida en el apartado anterior.

Este resultado debe de motivar a todas las personas involucradas en la tarea de salvaguardar los recursos naturales, para poner más énfasis en su tarea, ya que de lo contrario no solo se lamentará el azolvamiento del embalse del Cerrón Grande, sino que también se hechará de menos el vital líquido que es el agua para consumo humano.

C A P I T U L O I V

CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO DEPOSITADO EN EL EMBALSE

4.0 INTRODUCCION.

En el presente capítulo se presentará en detalle el proceso de sedimentación de embalses, desde el inicio hasta su finalización, incluyendo, sino todos, los principales factores que intervienen en este complejo proceso; dándole especial énfasis a las diferentes formas de transporte, a las diferentes teorías para la medición y predicción, a la deposición y distintas formas de medición del sedimento depositado en el fondo del reservorio.

También se abordará el tema de los efectos que causa el sedimento al reservorio en estudio, con especial interés en las implicaciones asociadas a la pérdida de la capacidad de almacenamiento, dado que esto causa problemas, tanto económicos como técnicos.

Es importante mencionar que algunos métodos, tanto de predicción, como de medición del sedimento, serán abordados en forma teórica por considerarse que en alguna medida no ofrece completa confiabilidad en los resultados, más que todo por el tipo de información requerida; sin embargo para efectos de darle una cobertura más amplia al tema y poder así cumplir con el objetivo de que este documento sea utilizado también como libro de consulta, cuando sea

requerido por los estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil en la investigación del aún poco conocido tema de la sedimentación de embalses.

4.1 GENERALIDADES.

Todo reservorio que ha sido formado, ya sea de forma natural o por una obra hecha por el hombre, está sujeto a un flujo de sedimentos y por consiguiente a la posterior depositación de éstos. El problema que enfrenta el diseñador de una obra, como una Central Hidroeléctrica, es tomar todas las provisiones necesarias para dejar el suficiente volumen muerto en donde se aloje el sedimento, y de esta manera evitar que en un futuro cercano interfiera con la vida útil proyectada para el embalse. El costo de reemplazo de el volumen perdido debido al sedimento acumulado resulta, a la larga, demasiado costoso.

Existe una serie de principios básicos que se deben tomar en cuenta a la hora de estudiar el proceso de sedimentación en reservorios: El transporte del sedimento a través de los ríos afluentes al reservorio, esto puede también ser aplicado al investigar la potencialidad del aporte de sedimentos de las subcuencas de los afluentes; La deposición del sedimento al ingresar del río al embalse, tomando en cuenta la reducción de la velocidad del agua. Los

anteriores parámetros son de gran utilidad cuando se tiene un reservorio en plena vida útil y se requiere hacer un análisis de las condiciones actuales del mismo, en lo que respecta a la cantidad de sedimento depositado en el fondo y a la vida que aún le queda.

4.2 PROCESO DE SEDIMENTACION.

El proceso de sedimentación es un proceso complejo que inicia con el desprendimiento de las partículas producido por la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia (Ver Figura No.43); o por las fuerzas generadas por el escurrimiento del agua. Una vez que la partícula ha sido desprendida, ella es arrastrada hacia los cursos de agua para luego ser transportada. El arrastre y el transporte dependen de la forma, tamaño y peso de las partículas, así como de las fuerzas hidrodinámicas ejercidas sobre las mismas. Cuando estas fuerzas disminuyen la etapa de transporte termina y ocurre la deposición.

Es importante mencionar que la vegetación juega un papel importante dentro del proceso de sedimentación. En este contexto sus funciones son (Ver Figura No.44):

- Interceptar la precipitación absorbiendo la energía de las gotas de lluvia y en consecuencia reduciendola.
- Incrementar la infiltración del agua en el suelo.
- Disminuir la velocidad de la escorrentía superficial.

- Fijar físicamente el suelo.
- Aumentar la evapotranspiración reduciendo la escorrentía.

No debe perderse de vista que este proceso se origina en una cuenca, y que su capacidad de producción de sedimentos varía de acuerdo a factores que intervienen en ésta, dentro de los cuales tenemos :

a) CLIMA :

- Precipitación (Intensidad, duración ,frecuencia)
- Temperatura.
- Viento.
- Humedad.
- Radiación Solar.

b) EL SUELO :

* Características físicas :

- Estructura.
- Textura.
- Porosidad.
- Densidad.

* Características Químicas :

- Salinidad.
- PH.

* Características Hidráulicas :

- Velocidad de infiltración.
- Capacidad de almacenamiento.

- Conducción hidráulica.

c) LA VEGETACION :

- Densidad de follaje y cobertura de suelo.
- Altura.
- Densidad y profundidad de raíces.

d) LA TOPOGRAFIA :

- Inclinação de las pendientes.
- Longitud de las pendientes.

e) ESCORRENTIA :

- Superficial.
- Subterránea.

f) ACTIVIDAD DEL HOMBRE :

- Forestería.
- Agricultura.
- Urbanismo.
- Construcción de vías de comunicación.
- Explotación de minas.
- Construcción de presas, reservorios y canales.

4.2.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

El transporte de sedimentos es el proceso intermedio entre la fase de erosión y la fase de deposición, constituyendo una propiedad inherente al flujo de agua en

los cauces naturales o artificiales. Toda corriente posee, por el tipo de movimiento, una determinada capacidad de transporte, que esta relacionada directamente con la velocidad, caudal y volumen del flujo. Un aumento de velocidad en el flujo dá mayor capacidad de arrastre, desgaste del perímetro mojado y fuerza de tracción para conducir las partículas sólidas, que tienen como principales características, su tamaño, forma y peso específico.

También reviste especial interés en los estudios de aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales pueden ser una limitante que determine la necesidad de un volumen adicional en los embalses o a recurrir a obras de control y protección con el consiguiente incremento en las inversiones o disminución de la vida útil de los mismos.

El transporte de sedimentos no es constante a lo largo de todo el año, representa cierta función del caudal que circula, aunque no se puede establecer una ley general que la defina encontrandonos que cada año el volumen transportado difiere de los años anteriores(ver cuadro No.10 del Capítulo II).

El mayor volumen transportado de sedimentos se dá en el período de iniciación de la época lluviosa, debido a que las cuencas están prácticamente secas, con poca vegetación y gran erosionabilidad. En cambio al final de la época

lluviosa el transporte de sedimentos se ve reducido, porque las condiciones de las cuencas son diferentes, presentando una mayor vegetación y menor vulnerabilidad a la erosión.

4.2.1.1 FORMAS DE TRANSPORTE.

Las partículas sólidas son transportadas por las corrientes en varias formas (Ver figura No.45):

- Las de mayor tamaño ruedan o se deslizan sobre el lecho, constituyendo el transporte sólido del fondo, llamado también Acarreo de Arrastre.
- Las partículas más finas van en suspensión, recibiendo el nombre de Sedimento Suspendido.
- Es posible que ciertas partículas se transporten de un modo especial : a Saltos, a esta modalidad se le denomina Transporte por Saltación.
- Partículas muy finas conducidas en estado coloidal y sumamente difícil de sedimentar se les clasifica como Sedimento de Lavado o en Solución.

El material de arrastre rueda o se desliza en contacto con el fondo y avanza en forma de rizos, dunas y barras. La velocidad de las partículas sólidas es generalmente inferior a la de la corriente que las transporta.

El material que viaja suspendido, está prácticamente distribuido en toda la sección transversal presentando una concentración mínima en la superficie y máxima hacia el fondo. La velocidad con la que avanza una partícula sólida en suspensión es prácticamente igual a la de la corriente en ese punto.

No se puede establecer un límite claro y definido entre las dos primeras modalidades de transporte, por otro lado cualquier alteración que ocurra en la velocidad de la corriente puede determinar de inmediato un cambio en la modalidad del movimiento.

Las leyes que rigen y describen cada una de estas formas fundamentales de transporte son en principio diferentes. No existe una proporción definida entre la cantidad de material sólido transportado por suspensión y aquella transportada por el fondo. Por lo general el sólido en suspensión es mayor que el sólido de fondo, constituyendo un 80 % o más del volumen de sólidos transportados por la corriente, mientras que la carga de fondo conforma del 5 al 25 % del total [12].

[12]Arteaga, Orlandino, "El problema de los Sedimentos en la Planificación y diseño de Presas de Almacenamiento", CRICA- 1980.

Algunos resultados de investigaciones y experiencias indican que en casos de torrentes, la proporción entre ambos modos de transporte puede ser igual a 1 y por el contrario en los grandes ríos de pequeñas pendientes la masa transportada en suspensión, como se mencionó anteriormente, es varias veces mayor que la transportada por el fondo.

En la práctica, debido a la dificultad que presenta la medición y cuantificación de las formas de transporte señalados, solo se identifican dos como los principales, siendo ellos el transporte de sedimento en suspensión que incluye el de lavado, y el transporte de sedimento de arrastre por el fondo que incluye el de saltación.

4.2.1.2 PRINCIPALES METODOS DE MEDICION DEL SEDIMENTO.

Las características propias del sedimento : dimensiones, peso específico, etc. y las condiciones de las corrientes superficiales : velocidad, anchura , profundidad, etc. hacen que el transporte de la carga de sedimento se realice en solución (materiales disueltos), en suspensión en el agua(materiales lavados) y acarreado en el fondo por tracción, rodamiento y saltación.

En la mayor parte de las corrientes naturales, el desplazamiento del sedimento por saltación y acarreo, se

realiza simultáneamente. Por ello, el caudal sólido se divide en dos categorías : Sedimento en Suspensión y Sedimento de acarreo o de arrastre por el fondo.

La medida directa del transporte en suspensión no ofrece dificultad y sus valores son ampliamente conocidos, utilizando generalmente las mismas instalaciones de aforo, obteniéndose por dos métodos : Integración en Profundidad e Integración Puntual.

En el primer método el manejo del muestreador requiere descensos verticales a lo largo de la profundidad del río a una velocidad constante, hasta alcanzar el fondo, para después ascender hacia la superficie a velocidad constante y el segundo método se emplea en grandes ríos y en secciones transversales de gran profundidad y altas velocidades.

El sedimento de fondo es el más problemático de cuantificar. Es difícil realizar mediciones para obtener información de estos sedimentos sin alterar las propiedades de transporte a lo largo del lecho. También la discontinuidad Temporo-espacial que caracteriza el transporte de estos sedimentos acentúa la dificultad; sin embargo para la determinación directa del sedimento de fondo, se utilizan diferentes técnicas de campo y también los estudios con modelos reducidos.

FORMAS DE MEDICION DEL SEDIMENTO EN SUSPENSION.

A continuación se describen métodos que pueden utilizarse para la medición del sedimento en suspensión :

- a) Uso de muestreadores.
- b) Uso de métodos colorimétricos.
- c) Fotómetro.
- d) Técnicas de Laboratorio.

a) MEDIDA CON MUESTREADORES

De todos los métodos el más utilizado y el más recomendado en condiciones normales, es el de la determinación del sedimento en suspensión mediante el uso de muestreadores. Estos son fabricados en numerosos tipos, siendo los más conocidos los siguientes :

- * Muestreadores puntuales.
- * Muestreadores integrados.
- * Muestreadores continuos.

Estos aparatos de diseño aerodinámico con una botella de vidrio para recoger las muestras de agua, en los cuales un conducto permite la salida del aire a medida que el agua llena la botella de tal forma que la velocidad de penetración del agua sea aproximadamente semejante a la velocidad del flujo local. Estos aparatos están diseñados de tal manera que produzcan una perturbación mínima,

obteniéndose muestras de sedimentos a cada altura en proporción al caudal local.

Se muestrean un buen número de verticales a lo largo de cada sección transversal con el fin de determinar la carga total en la sección. La duración del viaje del medidor está determinada por el tiempo necesario para llenar la botella y se puede calcular a partir de curvas particulares para cada boquilla, una vez conocida la velocidad de la corriente.

***MUESTREADORES PUNTUALES** : consisten generalmente de un recipiente cuya entrada se abre y se cierra en un punto determinado. Estos se emplean en grandes ríos y en secciones transversales de gran profundidad y altas velocidades.

El inconveniente de estos muestreadores es el débil volumen de la muestra que recogen, menor de 500 cc.; la capacidad es insuficiente en el estudio del transporte en suspensión de las arenas.

Un tipo corriente de estos muestreadores es el muestreador Tubular, lo que no hace aconsejable su uso es la gran alteración del escurrimiento que produce en el muestreador denominado DELFT (Holanda), el agua penetra en un conducto calibrado describiendo un circuito complicado, durante el cual su velocidad se detiene, lo que permite que se descarten las partículas más gruesas. Se mide con una

probeta graduada el volumen de los sedimentos colectados, sin embargo, no recoge muestras de materiales muy finos.

Un modelo más perfeccionado es el U.S. D-46, en ese caso la entrada del agua a la boquilla se mantiene abierta durante toda la operación. Para utilizarlo como muestreador puntual se cierra la boquilla con el comando eléctrico que se acciona desde la superficie. Una vez ha llegado el muestreador al punto indicado se procede a abrir el paso de la boquilla y a cerrarlo antes de retirar el muestreador; su uso solo se recomienda cuando estudios especiales lo justifiquen, como estudios de variación de la concentración con la profundidad.

*** MUESTREADORES INTEGRADOS :** Los hay de varios tipos pero el que más se utiliza en C.A. es el U.S. P-49 (ver figura N°46) que se utiliza para aforar cerca del fondo del lecho, para lo cual se suspende a un cable desde una estructura determinada (Puentes colgantes, botes, etc).

Se puede obtener un modelo rudimentario de Muestreador Integrado, agregando a una botella un contrapeso, su inconveniente es que al ser introducido en la corriente altera el flujo. Este inconveniente es general en todos los tipos de muestreadores, se disminuye en el caso de los muestreadores con formas hidrométricas.

Para los ríos menores en los que se afora por vadeo se puede utilizar el muestreador US DH-48 (Ver figura No.47), aparato ligero montado en una varilla estandar de imersión.

En este método el manejo del muestreador requiere de descensos verticales a lo largo de la profundidad del río a una velocidad constante, hasta alcanzar el fondo, para después ascender a la superficie a velocidad constante.

*** MUESTREADORES CONTINUOS** :El sistema está compuesto principalmente de :

- 1.- Una boquilla, provista de contrapeso y timón lo que permite ubicarla en cualquier punto en forma similar a la forma en que se ubican los muestreadores corrientes.
- 2.- Una llave de paso.
- 3.- Una bomba.
- 4.- Tamices.
- 5.- Medidor del caudal.

Debe tenerse especial cuidado para que la velocidad de entrada a la tubería sea muy similar a la velocidad que

lleva el agua. Si esto ocurre las condiciones en que opera el muestreador no son las más adecuadas.

Para obtener una velocidad igual a la del canal, debe contarse con una medida con molinete previa y ajustarla variando el gasto (Q), que se mide en el medidor o la sección de entrada, cambiando la boquilla.

Ventajas del Método.

1. Regulando la entrada de modo que la velocidad de entrada sea igual a la velocidad del canal en ese punto se puede lograr una muestra no alterada y perfectamente representativa.
2. Se puede obtener una muestra de cualquier volumen.
3. Muestreando un tiempo largo, los datos obtenidos son datos promedios de un cierto período.

Desventajas del Método.

1. El equipo no es cómodo para transportar y difícil de adaptar a cables o botes.
2. La igualación de velocidades no es siempre fácil de obtener y si esto no ocurre se producen alteraciones de importancia.

3. La velocidad en la entrada de la boquilla, debe ser de la misma dirección de ésta. Esto se consigue con el uso de un timón.
4. Solo se puede usar para profundidades menores que la altura de bombeo.
5. La resistencia de la cañería de toma produce limitación en los casos de corrientes muy fuertes o profundidades grandes. Este defecto se aminora anclando la cañería desde las orillas con cables.

b) METODOS COLORIMETRICOS.

En este caso en lugar de medirse la concentración del sedimento se recurre a la medida de la turbiedad. Este sistema es muy utilizado en agua potable, por su simplicidad. Se utilizan en este caso instrumentos llamados "Turbidímetros".

Estos instrumentos están basados en la comparación del color del agua con sedimentos con el color de una muestra base.

El uso de métodos colorimétricos requiere de calibraciones periódicas de ahí que se prefiera el uso de métodos basados en la determinación directa del sedimento mediante el filtrado de las muestras recogidas por los muestreadores ya indicados.

c) FOTOMETRO.

Puede utilizarse también para la determinación del sedimento en suspensión, el Fotómetro consiste en un medidor de color mediante una célula foto-eléctrica. Su uso en sedimentación es análogo al de los turbidímetros con la diferencia de que en este caso la determinación de la turbiedad es más exacta. Sin embargo, como requieren también de una curva de calibración, se prefiere el método de filtrado de las muestras. El tipo más utilizado es el Sigríst.

d) TECNICAS DE LABORATORIO.

Las muestras de sedimentos recogidas se analizan en el laboratorio, con el fin de determinar la concentración de sedimentos de cada muestra, por lo general se utiliza el método del filtrado; se utiliza papel filtro calibrado (cuyas cenizas tengan un peso fijo garantizado). El filtrado se puede aplicar en dos formas diferentes:

1.- Se obtiene el residuo del filtrado por diferencia entre el peso del residuo calcinado y el de las cenizas del filtro, este se debe utilizar cuando el sedimento contiene calcio en una proporción de más de un 20 %.

2.- Se obtiene el residuo, por diferencia entre el peso del filtro más residuo y el peso del filtro, en este método se utilizan sistemas de filtros pequeños de fibra de vidrio.

Cuando los sedimentos en suspensión son exclusivamente de naturaleza inorgánica, o sea que tienen ausencia de componentes orgánicos y carbonatados, su contenido se considera igual al residuo de calcinación en la muestra de agua.

Este método fué utilizado en el Capítulo III para determinar la tasa de sedimentación en el Embalse del Cerrón Grande.

FORMAS DE MEDICION DEL SEDIMENTO ARRASTRADO POR EL FONDO.

Medición Directa

Cinco técnicas son las más utilizadas para la medición directa del sedimento arrastrado por el fondo. Ellas son :

- a) Uso de muestreadores.
- b) Uso de trampas.
- c) Mediciones en zonas turbulentas.
- d) Modelos reducidos.
- e) Otros métodos.

a) MUESTREADORES.

Los muestreadores utilizados para la medición del sedimento arrastrado producen generalmente serias dificultades de operación, que desalientan su empleo, su uso más adecuado parece ser en canales o secciones revestidas.

En general se trata de cajones de malla, similares a los indicados en la Fig. No.48, los cuales se colocan en el fondo de las corrientes, a fin de que atrapen una parte representativa del arrastre por el fondo. A pesar de que se trata de que la malla y la armazón de la trampa no alteren las condiciones del flujo de la corriente, la práctica indica de que esto es casi imposible de conseguir. En los ríos grandes, el flujo de la corriente dificulta el anclaje del instrumento.

En vista de ese problema podría pensarse en muestreadores que crucen totalmente el fondo del río o canal, como se indica en la Fig. No.49.

b) TRAMPAS.

Este es el único método que produce buenos resultados. Consiste en interrumpir el fondo de un río o canal con una canaleta transversal. En esta trampa se acumula el sedimento. Básicamente se requiere de una serie de agujeros

alargados (ver fig. No 50) en el fondo del cauce y colocar en el mismo unos receptáculos que se puedan quitar por intervalos para medir la cantidad de material retenido; aunque más efectivo que los demás, esta técnica exige una elaborada preparación (desviación del curso de la corriente). Además origina remolinos que perturban el flujo natural de la la misma.

El problema radica en la extracción del sedimento, para lo cual debe desviarse el curso de la corriente. Esto es sin tomar en cuenta el alto costo de la estructura, que obviamente queda confinada exclusivamente al caso de pequeños cauces.

c) MEDICIONES EN ZONAS TURBULENTAS.

Este método puede usarse solo si el material del fondo es arena relativamente fina, y requiere que la corriente posea un tramo de alta turbulencia, se obtiene utilizando la siguiente fórmula :

$$GF1 = Gs2 - Gs1$$

Donde :

GF1 : Sedimento arrastrado (Kg / Seg)

Gs2 , Gs1 : Sedimento suspendido (Kg / Seg)

La aplicación de esta fórmula produce, teóricamente, buenos resultados, pero su uso práctico es casi imposible debido a :

1. Dificultad para encontrar un río en que las condiciones relatadas existan.
2. Imposibilidad práctica para muestrear en la zona turbulenta (Para que no exista arena arrastrada se requiere de una alta velocidad que imposibilita una buena medida).
3. Una cantidad pequeña debe obtenerse por diferencia, con lo cual los errores del método son muy apreciables.

d) MODELOS REDUCIDOS.

Consiste en simular sobre maquetas de secciones de corrientes fluviales, la acción de flujos turbulentos, con el fin de establecer leyes hidrodinámicas. Con respecto a este método de investigación se pueden plantear tres problemas :

1. No se puede respetar la regla de la similitud según la cual todas las variables sufren una reducción de la misma escala, esto produce distorsiones, que modifican la naturaleza de los fenómenos que se intentan estudiar.

2. Algunos hechos naturales son difíciles de producir en forma adecuada.
3. Son muy costosos y sus resultados se deben aplicar en condiciones muy específicas.

En ríos regularizados, este método produce resultados excelentes.

e) OTROS METODOS.

Se aplican basados en el uso de trazadores fluorescentes y en otros casos trazadores radioactivos. Los primeros tienen la ventaja de que son baratos y seguros, pero se requiere de que recojan las muestras marcadas para poder realizar el recuento de granos fluorescentes con luz ultravioleta. El tránsito de los trazadores radioactivos, se controla por medio de aparatos de detección a través del lecho de la corriente, sin necesidad de sacar las muestras; el grupo es relativamente caro y es preciso observar estrictas medidas de protección.

4.2.1.3 PRINCIPALES METODOS DE PREDICCIÓN DEL SEDIMENTO.

(MEDICIÓN INDIRECTA)

Por lo general, los métodos de evaluación de la carga de fondo, determinan el peso total de los materiales

transportados en función de los parámetros hidráulicos y geométricos de la corriente. Así como también las características de los materiales (peso específico y la selección de un diámetro promedio). Como estas fórmulas se derivan en su gran mayoría de experimentos en canales modelos, los investigadores trabajan con variables controladas como son : un régimen de caudal permanente y uniforme, la anchura del cauce, pendiente y una gama de arenas de tamaños uniformes.

Estas ecuaciones sirven para proporcionarnos una idea de la magnitud del caudal sólido que arrastran en el fondo, las corrientes montañosas del trópico. Ello requiere cierto control de campo. Sin embargo, la aplicación de las ecuaciones en nuestros paisajes naturales es delicada. Las características que muestran los cauces tropicales de montañas son muy variadas. Abundan los sedimentos gruesos (Bloques, gravas y arenas) que proporcionan una gran heterogeneidad en los diámetros de los materiales de la carga de fondo. La existencia de innumerables rápidos y saltos de agua diversifican la anchura de los cauces, los valores de las pendientes longitudinales y los regímenes hidrodinámicos de las corrientes (sectores de remansos y de elevadas turbulencias).

Dadas las dificultades que presentan estos métodos en cuanto a escases de datos y a la realización práctica de los

mismos, en este estudio nos limitaremos a definir algunos de los métodos de predicción más conocidos y los abordaremos de forma teórica.

a) FORMULA DE MEYER PETER - MULLER.

PASOS A SEGUIR [13] :

1. Se eligen unos 10 aforos que no se separen mucho de la curva de descarga y que tengan un rango de caudal bastante amplio. Interesan especialmente aforos altos.

2. Para cada aforo se calcula :

Q : Caudal M³/Seg.

F : Sección, M².

V_m: Velocidad media , M/S= (Q/F)

t : Profundidad media, M.= (F/b)

b : Ancho medio, M.

R : Radio hidráulico medio, M.

No se comete gran error si este valor se hace igual a t, en ríos anchos ($b > 20t$).

Los valores anteriores corresponden a las columnas de la No.1 a la No.6 del cuadro No.34 .

[13]Basso, Eduardo, "Proyecto Hidrometeorológico de Centroamérica", Informe No. 4, 1967.

3. Se calcula C (Coeficiente de Chezy) como :

$C = R^{(1/16)} / n$, el resultado se anota en la columna 7 del cuadro 34.

Siendo n el coeficiente de rugosidad de Manning, anotandose este en el espacio (a) del formulario.

4. Como :

$$V_m = C (R \cdot J)^{1/2}$$

Se tendría que : $V_m^2 = C^2 R J$

$$\text{entonces } J = V_m^2 / C^2 R$$

El valor de $C^2 R$ se indica en la columna No.8 del mismo cuadro y el V_m^2 en la No.9 . En la columna No.10 se anota el resultado del cálculo, la pendiente. Para evitar el uso de decimales se prefiere anotar el valor 1000 J.

5. Se calcula el esfuerzo de corte sobre el fondo, ó que queda dado por:

$$\tau = \gamma_w R J$$

en que γ_w es el peso específico del agua ($\gamma_w = 1000 \text{ Kg/m}^3$). El resultado se anota en la columna No.11 .

6. Se calcula τ_o , que es el esfuerzo de corte crítico. De acuerdo con Meyer Peter este valor se expresa por:

$$\tau_o = A (\gamma - \gamma_w) d_m$$

en que:

A = una constante sin dimensión igual a 0.047

γ = peso específico del arrastre = 1200 Kg/m³ o el que se mida .

γ_w = peso específico del agua = 1000 Kg/m³

d_m = tamaño medio de la partícula en metros

Previa es la determinación de (d_m), para ello es necesario efectuar un análisis granulométrico del material del fondo. Se acepta generalmente como tamaño medio el valor d_{50} , es decir un diámetro tal que 50% de las partículas son mayores que ese tamaño. Es recomendable dibujar el gráfico en papel logaritmico de probabilidades, para que la granulometría quede representada por una recta.

El valor d_{50} se anota en (b) en el formulario y el valor de τ_0 calculado en la forma indicada en (c).

7. Se determinan las diferencias $\tau - \tau_0$ anotándolas en la columna 12. Para que exista arrastre $\tau - \tau_0$ debe ser menor que cero.

8. Se calcula g_s (gasto sólido Kg/seg/metro) que vale:

$$g_s = \frac{\tau - \tau_0}{\left(\frac{B - \gamma_w}{g} \right)^{1/3}}$$

Siendo B= otra constante igual a 0.25

g = aceleración de la gravedad = 9.8 m/seg²

El resultado se anota en la columna 13.

9. Se calcula G_s que es el arrastre total y que vale:

$$G_s = g_s * b$$

anotandose el resultado en la columna 14.

10. Con los valores de Q y G_s (columnas No.1 y No.14), se construye una curva $G_s = f(Q)$.

11. Se pasa ahora al cuadro No.35. En la columna 1 se anotan unos 10 valores crecientes del caudal, partiendo de un valor con el cual no existe arrastre y llegando hasta valores de Q bastante altos (máxima crecida registrada).

12. En la columna 2 se anotan las probabilidades correspondientes al caudal de la columna 1 obtenido de una curva de duración del caudal.

13. En la columna 3 se anotan los valores medios entre los dos valores sucesivos de Q correspondientes en la columna 1.

Esquemáticamente se tendrá:

Q (1)	P (2)	Q (3)	P (4)
Q_1	P_1		
		$1/2 (Q_1 + Q_2)$	$P_1 - P_2$
Q_2	P_2		
		$1/2 (Q_2 + Q_3)$	$P_2 - P_3$
Q_3	P_3		
		$1/2 (Q_3 + Q_4)$	$P_3 - P_4$
Q_4	P_4		

14. Se determinan la σ_P correspondiente y se anotan en la columna 4. El cuadro anterior ilustra el procedimiento.

15. Se calcula el número de días correspondientes:

$$n \text{ (días)} = \sigma_P : 365$$

(si la curva de duración se ha hecho en días, la columna 4 se omite ya que este valor se obtiene directamente de la curva de duración).

El resultado se anota en la columna 5.

16. En la columna 6 se calcula el equivalente de (n) en segundos.

$$N \text{ seg} = 86,400 \text{ n días}$$

Se prefiere anotar miles de segundos.

17. En la columna 7 se anota el valor de G obtenido de la curva $G_s = f(Q)$ en Kg/seg.

18. La columna 8 corresponde al producto $G_s(\text{Kg/seg.}) \cdot n(\text{seg.}) = G(\text{tón.})$. La suma de la columna de arrastre total, equivale a una integración gráfica, el resultado se anota en la columna No.5.

b) FORMULA DE EINSTEIN-BROWN.

Einstein introdujo el concepto de que el movimiento de las partículas sólidas es un evento estocástico, pues depende de que la fuerza ejercida sea mayor que la fuerza de resistencia de la partícula. Como la fuerza ejercida por el

fluido, varía en el tiempo y el espacio, el movimiento de una partícula depende de la probabilidad de que en un determinado instante y lugar, las fuerzas dinámicas excedan a las fuerzas de resistencia.

Einstein introdujo la función ϕ (intensidad de movimiento) y la función \varnothing (intensidad de transporte).

El procedimiento de cálculo para la Fórmula Einstein-Brown es el siguiente y se detalla en el cuadro No.36 :

1. Se eligen unos 10 aforos en la misma forma ya indicada.
2. Se anotan en el cuadro los valores de Q (col.1) y de R (col.2).
3. En la columna (3) se anotan los valores de 1000s, obtenidos en el cálculo de Meyer-Peter ($S=J$, pendiente).

4. Luego se calcula el valor :

$$\phi = (Ss - 1) ds/Rs$$

Donde:

$Ss =$ Peso específico relativo del sólido $= 2.65$
aproximadamente (Gravedad Específica).

$ds =$ Tamaño de las partículas

ds y R en el mismo sistema de unidades o en las mismas unidades (mm - mm) o (m - m) de modo que ϕ sea adimensional.

Vease la determinación de ds en el método anterior, (ds se anota en b). En la columna (4) se anota el valor $1/\phi$.

5. Con el abaco de Einstein, se calcula \varnothing .

Donde:

$\phi = f(\phi)$, el resultado se anota en la columna (5).

6. Se calcula F que es función de ds, de acuerdo con la siguiente tabla:

ds (mm)	F
0.3	0.6
0.5	0.7
1	0.8
2	0.8
5	0.8
10	0.8

El valor de F se anota en (c) en el formulario.

7. Se calcula g_s , gasto sólido (Kg/seg/m) con la fórmula:

$$g_s = \Gamma_s \phi F ds g \quad S_s - 1$$

En que :

Γ_s = peso específico del sólido = 1,200 Kg/m³

ϕ = valor adimensional (col (5))

F = valor adimensional (c)

ds = tamaño medio de la partícula en metros (b)

g = aceleración de la gravedad m/seg²

S_s = densidad relativa o gravedad específica, adimensional.

El resultado se anota en la columna (6).

8. Se calcula $G = gs * b$ (col. (7) y (8)).
9. Se dibuja la curva $G = f(Q)$.
10. Se llena a continuación el cuadro No.37 en igual forma que en el caso anterior.

c) FORMULA DE SHIELDS

Shields estudió sobre todo el problema del principio del movimiento , y sus ecuaciones son una descripción matemática de los factores involucrados en el transporte sólido de fondo.

El procedimiento es el siguiente:

1. En el cuadro No.38 se llenan las columnas 1, 2 y 3 de acuerdo con lo ya explicado en los métodos anteriores.
2. Se calcula

$$\epsilon = \frac{ds \quad g \quad R \quad J}{\nu}$$

Donde:

ds = tamaño medio de la partícula en metros.

ν = viscosidad cinemática del agua en m^2/seg .

g = aceleración de la gravedad en m / seg^2 .

R = radio medio hidráulico en metros.

J = pendiente del eje hidráulico.

a través del ábaco de Shields se calcula:

$$\frac{\tau_c}{\Gamma (Ss - 1) ds} = f(\epsilon)$$

El resultado se anota en la columna No.4.

3. Se calcula $\tau_c = f(\epsilon) * \Gamma (Ss - 1)$; el resultado se indica en la columna No.5.

4. Se calcula $\tau = \Gamma * R * J$; anotandose el resultado en la columna No.6.

5. Se calcula $\tau - \tau_c$ y se anota en la columna No.7.

6. Se calcula g_s , que vale:

$$g_s = \frac{10 q J Ss (\tau - \tau_c)}{(Ss - 1)^2 ds}$$

Donde:

g_s = gasto sólido en Kg/seg/m

q = caudal en m/seg., por metro de ancho.

j = pendiente del eje hidráulico.

4.2.2 PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE DEPOSICION DE SEDIMENTOS.

Los parámetros dominantes en la deposición de sedimentos, pueden ser divididos en 3 categorías:

a) Características físicas del sedimento:

- Tamaño
- Forma
- Textura
- Peso específico
- Velocidad de caída

b) Esgurrimiento:

- Velocidad del agua (Turbulencia)
- Tipo de flujo (Uniforme, No uniforme, Permanente, No permanente).
- Densidad
- Viscosidad (temperatura, contenido de coloides)

c) Características del Reservorio:

- Tamaño
- Geometría
- Profundidad
- Operación (relación entrada-salida de volúmenes de agua)

4.2.3 DEPOSICION DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

Al desembocar el Río Lempa en el embalse del Cerrón Grande, aumenta la sección hidráulica de la corriente, trayendo como consecuencia una disminución en la velocidad del flujo.

Como se mencionó anteriormente, el movimiento de las partículas está relacionado directamente con la fuerza originada por la velocidad de la misma dentro de la corriente y la componente vertical del peso; si la velocidad se reduce, la componente del peso actúa como directriz

principal de la trayectoria de la partícula; influyendo en esto, el diámetro medio, forma y peso específico de la partícula, en combinación con la densidad y viscosidad del fluido, según la ley de Stokes. Esto convierte a los embalses en grandes desarenadores con gran potencial de atrape de sedimentos(Ver figura No.51), los que al acumularse con el tiempo, le restan capacidad útil al reservorio, trayendo como consecuencia una disminución en su vida de diseño. En algunos casos puede hasta perder su capacidad de almacenamiento, causando esto problemas gravísimos a la economía de cualquier país.

De lo anteriormente explicado se puede deducir la importancia de tomar medidas para determinar el volumen del sedimento, que año con año se acumula en los embalses de las diferentes presas hidroeléctricas, además de conocer la forma y distribución del azolve dentro del reservorio (Ver figura No.52), y en resumen el número aproximado de años de vida útil que le quedan a los mismos.

El patrón de acumulación y distribución del sedimento depende de varios factores anteriormente mencionados.

Los sitios principales de deposición de los sedimentos en cualquier cuenca son las zonas bajas, los lagos y embalses de las centrales hidroeléctricas.

La erosión intensa a que está sometida la cuenca media-alta del río Lempa, ha provocado que los afluentes arrastren grandes cantidades de sedimento, producto del inadecuado uso de la tierra, alto grado de deforestación y de la falta de una política adecuada del desarrollo de los recursos naturales de esta región; y por si esto fuera poco, en la parte Nororiental de la cuenca existen ríos torrenciales con grandes pendientes, lo cual provoca que estos afluentes arrastren en su recorrido cantidades considerables de sedimento, depositandose éste en las desembocaduras al reservorio, zonas que están destinadas propiamente al volumen útil del embalse mencionado.

Según estudios realizados por Harza Engineering Co., el embalse del Cerrón Grande tendría una tasa de sedimentación de 7 millones de metros cúbicos por año [14] ; sin embargo a través de este estudio se pretende tener un parámetro de comparación bastante confiable respecto a las diferentes apreciaciones o estudios que se puedan o se pudieran hacer al respecto de este tema.

[14] Harza Engineering Co., "Estudio de Factibilidad Proyecto Hidroeléctrico Cerrón Grande", 1972.

4.3 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

El embalse del Cerrón Grande está emplazado en el río Lempa, y la estructura de la presa está ubicada al inicio del embalse de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, aproximadamente a 20 kilómetros aguas arriba de la misma y su posición geográfica es $13^{\circ} 54' 19''$ de Latitud Norte y $88^{\circ} 54' 19''$ de Longitud Oeste, su nivel máximo de servicio es la cota 243 m.s.n.m., con la cual forma un lago de un área superficial de aproximadamente 135 kilómetros cuadrados, cuenta además con un volumen útil de 1430 millones de metros cúbicos y un volumen muerto de 750 millones de metros cúbicos.

En el sitio donde se ubica el embalse del Cerrón Grande, el río Lempa había excavado un valle a través de estratos volcánicos espesos hasta una profundidad de 165 mts., las pendientes de los taludes del valle variaban de 5 a 1 cerca del lecho del río y de 1 a 1 cerca de la cota 250 m.s.n.m.; entre las principales unidades geológicas encontradas en la zona del reservorio se tiene :

a) **Aglomerados y Breccia tufácea:** La roca más antigua que afloró en el sitio. Está formada por partículas gruesas y angulosas color gris oscuro, envueltas en una capa gris de toba fundida. El tamaño de los agregados, la dureza y el.

grado de intemperización es muy variable, tanto horizontal como verticalmente.

b) **Toba y Toba fundida:** Rocas volcánicas de grano fino con varios grados de endurecimiento que se hallaban recubriendo el aglomerado. Las zonas fundidas son relativamente duras , las que no lo fueron estan debilmente cementadas y relativamente blandas, ambas se encuentran intemperizadas en distintos grados aún a gran profundidad.

c) **Toba fundida Andesítica :** Un estrato grueso de esta roca de color rosado cubre el interior del estribo derecho de la presa, arriba de la elevación 270 m.s.n.m. . Esta roca es dura y moderadamente intemperizada.

d) **Basalto y Andesita :** Las partes sanas de estas rocas son duras, densas y resistentes. Se halla bastante intemperizada en fundaciones de un color verde oscuro y con tendencia a disgregarse al estar expuestas.

e) **Gravas de terrazas :** Son aluviones antiguos formados por gravas areno-arcillosas con una granulometría variada. Están ampliamente distribuidas en ambas riveras a una elevación aproximada de 190 m.s.n.m. . Las partículas están ligeramente a muy intemperizadas.

f) **Aluviones Recientes** : Se hallan en el canal del río Lempa, consistiendo en depósitos relativamente delgados y discontinuos de arena y grava, recubiertos por un grueso estrato de arena con mucha pómez y a lo largo de la rivera por estrechas capas de limo arenoso suelto. La arena está constituida por partículas finas y medianas de feldespatos y fragmentos de roca con una gran cantidad de partículas de pómez con tamaños hasta de 2.5 centímetros de diámetro. La densidad relativa de la arena es de mediana a baja.

g) **Suelo Residual y Coluviones** : Es una capa de suelo residual, sedimentos de pie de monte y coluviones de varios espesores que varían de 2 a 20 metros. Este material está compuesto principalmente por suelo fino con fragmentos de roca que presentan un grado de intemperización variable.

4.3.1 CARACTERISTICAS DEL RIO LEMPA

El río Lempa nace en la parte Suroeste de Guatemala y Suroeste de Honduras, entrando en El Salvador en un punto 10 kilómetros al Noroeste de la Ciudad de la Palma, fluye en un curso Suroeste en un tramo de 50 kilómetros hasta un punto 15 kilómetros al Este de Santa Ana, de este punto el curso sigue hacia el Este por unos 150 kilómetros hasta un punto 20 kilómetros al Noroeste de Sensuntepeque, donde cambia su dirección a Suroeste hasta entrar al Océano Pacífico a 30

kilómetros al Sur de San Marcos. El área de drenaje total es de aproximadamente 18,243 kilómetros cuadrados, de los cuales 10,255 están dentro del territorio nacional. El flujo del río Lempa es controlado por 4 centrales hidroeléctricas; una localizada en la salida del lago de Guija, la Central Hidroeléctrica del Guajoyo, aproximadamente a 30 kilómetros al Norte de Santa Ana, controlando un área de drenaje de 2500 kilómetros cuadrados; otra es la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, con un lago de almacenaje en el cual drenan 8485 kilómetros cuadrados, a ésta le sigue la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, ubicada a 20 kilómetros de esta última, y controla un área de drenaje de 9800 kilómetros cuadrados, y finalmente la Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre, cuya área de drenaje es de 17254 kilómetros cuadrados.

REGIMEN DEL RIO LEMPA

El período de aguas altas está comprendido entre los meses de mayo y octubre, los caudales mínimos se dan entre los meses de noviembre y abril; la descarga máxima del Lempa se estima que ocurrió el 7 de junio de 1934 con un flujo estimado en 25000 m³/seg. y un nivel de aguas máximas de 45.2 m.s.n.m. en la estación de aforo de La Pintada.

El cauce principal del río tiene una longitud de recorrido de aproximadamente 389 kilómetros, su cauce tiene

variaciones en su anchura, que va desde los 30 metros a la entrada en El Salvador en la Estación Citala, 150 metros en el cruce de la carretera Panamericana, y 365 metros en la desembocadura al mar.

El caudal del río Lempa varía conforme aumenta su recorrido, la descarga y nivel son medidos en diferentes puntos importantes (ver figura No.21 del Capítulo II), y los registros y mediciones son tomados, analizados y publicados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) através de los anuarios hidrológicos.

Los ríos tributarios de la margen derecha del Lempa acarrean grandes cantidades de sedimento en la época lluviosa, especialmente el Suquiapa y el Sucio, los cuales se encuentran ubicados en la llamada Meseta Central.

4.4 METODOS PARA EVALUAR LA SEDIMENTACION EN RESERVORIOS

Los sedimentos que se depositan en un reservorio se pueden evaluar por métodos directos y por métodos indirectos.

Los métodos directos son aquellos que se utilizan en el campo, midiendo directamente el sedimento. Estos pueden

realizarse en la zona misma donde ocurre la erosión, en el momento del transporte o en los depósitos de las partículas.

Entre los métodos directos podemos mencionar:

- Levantamientos topográficos: zonas afectadas con erosión severa (carreteras, oleoductos, etc.) .
- Por medio de Instrumentos: en los ríos que conforman la red hidrográfica que desemboca en el reservorio. Se toman medidas del sedimento de fondo y del sedimento en suspensión.
- Levantamientos Batimétricos: es la mejor manera de conocer el volumen de sedimentos acumulados dentro de un reservorio, así como su distribución espacial.

Los métodos indirectos son derivados de los anteriores. Una vez analizados los resultados de las mediciones directas, se establecen relaciones (matemáticas, probabilísticas, estadísticas, gráficas, etc.) que permiten establecer modelos de predicción.

Existen muchos métodos indirectos que han sido desarrollados durante las últimas décadas, entre ellos podemos mencionar:

- Fórmula Universal de la Pérdida de Suelo y sus modificaciones: desarrollado por Wischmeier y Smith .

(1965) que predice la "erosión bruta", es decir la cantidad de sedimentos que se mueven dentro de la cuenca (ver Capítulo III de este Trabajo de Graduación).

- La fórmula de Meyer-Peter-Muller.
- La fórmula de Schoklitsch.
- La Fórmula de Einstein-Brown.
- La fórmula de Laursen.
- La fórmula de Du Boys.
- La fórmula de Ackers & White.
- La fórmula de Engelund & Hansen.m
- La fórmula de Kittur, Ranga Raju, Garde & Bhardwaj.

Todos estos modelos predicen la "Producción neta" de sedimentos, es decir, la cantidad de partículas que son transportadas hasta un punto de observación en la cuenca (generalmente una estación de aforo antes de la desembocadura al reservorio).

A continuación se describen los métodos más utilizados en la evaluación de la sedimentación en reservorios.

a) LEVANTAMIENTOS BATIMETRICOS.

El objetivo principal de un levantamiento batimétrico es determinar la capacidad de almacenamiento de un reservorio, el cual se puede comparar con un levantamiento

anterior (generalmente un levantamiento inicial, antes del llenado del embalse), dando como resultado el volumen de sedimentos acumulados en el periodo comprendido entre los dos levantamientos.

Es el mejor método para determinar la cantidad de sedimento que se ha acumulado en un reservorio, además de que permite conocer la profundidad aproximada del mismo a lo largo de una sección.

Se utiliza un aparato llamado Ecosonda que emite señales similares a las de un radar, las cuales son enviadas al fondo del embalse (al que se le está realizando el levantamiento) y que al encontrar el sedimento acumulado en el fondo, rebotan hacia el aparato, el cual al recibirlas genera una gráfica en papel electrosensitivo, mostrando la disposición que tiene el sedimento, en forma de perfil topográfico. La cantidad de sedimento acumulado se puede determinar, como ya se mencionó, a través de la comparación de los perfiles anteriores con los actuales o más recientes.

El equipo utilizado para la realización de levantamientos batimétricos es el siguiente:

- Ecosonda con sistema de grabación de señales con banda sin fin (ver figura No.53).

- Papel seco electrosensitivo PA-2020, con un ancho efectivo de 180 mm.
- Transducer o transmisor de señales con rendimiento de 300/10 W. con poder de reducción, se pueden utilizar 3 frecuencias diferentes.
- Cable de poder VSRF-2X125.
- Varilla con rosca M10X300.
- Arandela FOR-M10 y F-52103.
- Fusibles de 1 A., 10 A., 5 A.
- Batería de 12 Volt.
- Lancha con capacidad para 6 personas, con aditamentos especiales para montar el equipo.
- Motor fuera de borda de 50 HP.
- Un equipo de 6 personas capacitadas para esta labor.

Todo el equipo y personal antes mencionado forman parte de los recursos con que cuenta la CEL para llevar a cabo las labores de batimetría en el embalse del Cerrón Grande.

b) LEVANTAMIENTO DE DEPOSITOS

Este método supone que todo el material del fondo se deposita en el embalse es decir que no se operan las compuertas del fondo de la presa (si existen), y tanto el volumen como el peso específico del sedimento se pueden determinar teóricamente.

Es uno de los métodos más apropiados para grandes ríos y reservorios, requiere varias condiciones difíciles de cumplir. Además los levantamientos son muy complejos y costosos, aparte de que no se conoce aún un método satisfactorio para determinar la densidad de sedimentos sumergidos in situ, el método de bifracción de rayos es aceptable, siempre y cuando se logre calibrar el aparato.

Aquí están incluidos los levantamientos hidrotopográficos que se realizan sobre todo en ríos que desembocan en embalses. Es la ejecución periódica y sistemática de levantamientos topográficos transversales de distintos tramos de una corriente, durante periodos diferentes en especial antes y después de crecidas y en tramos en donde se mide paralelamente la variación de los caudales líquidos. Los perfiles topográficos transversales de tramos cercanos se comparan entre sí para determinar la evolución de las formas del cauce : erosión y/o sedimentación, deduciendo así los volúmenes de sedimento de fondo.

c) CURVA AREA - CAPACIDAD DEL RESERVORIO.

Esta curva se utiliza para determinar teóricamente el volumen de sedimentos depositados en el fondo del embalse, mediante las siguientes expresiones matemáticas :

$$C(h) = m \cdot h^n$$

$$A(h) = p \cdot h^q$$

Donde :

C : Capacidad.

A : Area.

h : Altura

m, n, p y q : constantes para cada reservorio.

Lamentablemente para el embalse del Cerrón Grande, solo se cuenta con la curva de altura-capacidad del reservorio inicial (Ver figura No.54). Para poder obtenerse la curva Area Capacidad del Reservorio (ver figura No.55) actual es necesario contar con las áreas del embalse para cada altura del mismo, comenzando con la cota 228 y finalizando con la cota 243, este proceso podría realizarse por medio de imagenes por satélite.

d) METODO REDUCCION DE AREA.

Una vez se ha calculado el volumen de sedimentos acumulado en el embalse, se aplica este método para determinar la distribución espacial del sedimento. Fué desarrollado por Borland Miller y Lara, basandose en el análisis de la información recopilada en 30 reservorios.

Este análisis condujo a la elaboración de 3 gráficos fundamentales :

El primero (Ver figura No.56) define la relación entre el porcentaje de sedimentos depositados con respecto a su altura relativa, de esta manera establece cuatro tipos de reservorios en base a la forma física, ésta se define por la relación profundidad-capacidad (graficada en papel logarítmico), donde n (factor de forma) es la inversa de la pendiente de la recta resultante. Los tipos de reservorio así definidos son :

TIPO	CLASIFICACION	m
I	LAGO	3.5 a 4.5
II	LLANURA DE INUNDACION	2.5 a 3.5
III	COLINAS	1.5 a 2.5
IV	NORMALMENTE VACIOS	-----

El segundo, define la relación entre las áreas relativas con sus correspondientes alturas relativas, referidas a la altura y área máxima respectivamente, lastimosamente como se indicó antes, no se cuenta con la curva área-volumen del embalse . Las expresiones matemáticas para cada tipo de curva (correspondiente a cada tipo de reservorio) son las siguientes (Ver figura No. 57) :

TIPO DE RESERVORIO	ECUACION	
I	$a = 5.074p$	$\frac{1.85}{(1-p)} - 0.35$
II	$a = 2.487p$	$\frac{0.57}{(1-p)} - 0.41$
III	$a = 16.967p$	$\frac{1.15}{(1-p)} - 2.32$
IV	$a = 1.486p$	$\frac{-0.25}{(1-p)} - 1.34$

Donde :

a : Area relativa ocupada por el sedimento.

p : Altura relativa con respecto al fondo del reservorio.

El tercer gráfico establece la relación entre las alturas relativas y un número adimensional "Fh" que es función de las características del reservorio y del volumen del sedimento depositados en un período dado (Ver fig. No. 58) :

$$Fh = \frac{Vd - Vh}{H * Ah}$$

Donde :

Fh : Número adimensional.

Vd : Volumen de sedimentos depositados en un período dado.

Vh : Capacidad del reservorio a la elevación "h".

H : Altura total inicial del reservorio.

Ah : Area del reservorio a la altura "h".

En este gráfico se plotean los pares de valores (F,p) encontrados para el caso en estudio y se traza la curva correspondiente; la abscisa definida por la intersección de esta curva con la curva correspondiente al tipo de reservorio, representa la altura relativa a la cual se encuentran los sedimentos (p_0) .

e) EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO DE RESERVORIOS (EAR). *10*

Se define como eficiencia de atrapamiento de un reservorio al porcentaje de sedimentos atrapados por el embalse con respecto a la cantidad total que entró en él.

La eficiencia de atrapamiento de un reservorio depende básicamente de dos factores :

- La velocidad de caída de las partículas, la cual depende del tamaño y forma de las partículas, la viscosidad del agua y su composición química.
- El tiempo de retención, que es el tiempo promedio que una partícula de agua permanece en el reservorio y es calculado dividiendo la capacidad del embalse entre el volumen de agua que entró en él en un tiempo determinado.

La ecuación :

$$E = 1 - e^{-\left(\frac{W L_o}{V H}\right)}$$

es otra de las formas de expresar la EAR, la cual está en función de las salidas del reservorio.

Han sido desarrollados varios métodos para estimar la EAR, los cuales están basados fundamentalmente en relaciones empíricas; entre los más conocidos se pueden mencionar :

e.1) METODO DE BRUNE

Los estudios realizados por Brune se basaron en los registros de 44 reservorios; esta información fué analizada y se encontró una relación semilogarítmica curvilínea entre la EAR y el tiempo de retención.

Este método es de fácil aplicación, teniendo como datos la capacidad del reservorio C y el volumen de agua que ha ingresado al reservorio durante un año V_e , calculandose el tiempo de retención como : $RT = C / V_e$, con este valor se entra al eje de abscisas de la gráfica (Ver figura No.59), interceptandose la curva media, obteniendose así el valor de la EAR en el eje de las ordenadas.

Para el caso del embalse del Cerrón Grande éste método es de fácil aplicación, si sabemos que el volumen de agua

que ingresa promedio por año al reservorio es de 4,846,429,424.46 m³. y la capacidad del embalse es de 1430 MM³., entonces el tiempo de retención es de 0.3, con este valor se ingresa a la gráfica de la referencia y el resultado es una eficiencia de atrapamiento del 90 %.

e.2) METODO DE CHURCHILL.

Este método fué desarrollado usando como información los registros de los reservorios del Tennessee Valley Authority (T.V.A.). Los estudios dieron como resultado una relación logarítmica entre la EAR y el índice de sedimentación definido como el cociente entre el tiempo de retención y la velocidad media del escurrimiento en el reservorio (Ver figura No.60).

Al igual que el método anterior, el método de Churchill es de fácil utilización; como información se requiere la capacidad del reservorio C, su longitud L y el volumen de agua que ingresó en le período de un año V_e . Con estos datos se calculan el tiempo de retención $TR = C / V_e$ y la velocidad media $v = C / L$; con estos resultados se calcula el índice de sedimentación $IS = TR / v$, valor con el cual se ingresa al gráfico mencionado y se intercepta a la curva para salir al eje de ordenadas y obtener el valor en porcentaje de la cantidad de sedimentos que atravieza el reservorio V_{ma} , por tanto la EAR será el complemento a 100 ($EAR = 100 - V_{ma}$).

4.5 CALCULO DEL SEDIMENTO DEPOSITADO EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

Para calcular el volumen del sedimento depositado en el fondo del embalse del Cerrón Grande, se recurrirá a los métodos considerados como los más adecuados para este tipo de medición, tomando como base los criterios siguientes:

- Contar con la información pertinente y necesaria para efectuar los cálculos.
- El método a usar será del tipo directo y/o indirecto dependiendo de la clase de información disponible.
- La metodología a seguir será explicada en detalle.

4.5.1 METODO BATIMETRICO.

Este método puede considerarse como una de los más exactos y confiables en lo que a la determinación del sedimento depositado en el fondo del embalse se refiere.

El primer levantamiento batimétrico realizado en el embalse del Cerrón Grande fué llevado a cabo en el año de 1979, suspendiéndose luego esta actividad durante 13 años, debido al conflicto armado que recién finalizó en nuestro país; posteriormente, como registro más reciente, se cuenta con los sondeos llevados a cabo en el año de 1992.

METODOLOGIA :

Generalmente este levantamiento se realiza cuando el embalse se encuentra en su cota máxima (243 m.s.n.m.), que es cuando el reservorio se encuentra en su máximo nivel de operación.

Existen diez secciones de control del sedimento distribuidas en un área controlada de 46.5 Km²., la cual representa un 34.5 % del área total del embalse (Ver figura No.61).

Para la determinación de la carga total de sedimento depositado en el reservorio, se supondrá que el comportamiento del resto del embalse (área no controlada), es como lo describe G.M. BRUNE, quien manifiesta que el sedimento fino avanza más rápidamente que el sedimento grueso y que ambos representan el 75% y 25% respectivamente, ✓ de la carga total de sólidos depositados en el embalse; así, se tendrá que hipoteticamente el área no controlada por CEL, se comportará al 75% de la capacidad de atrape que posee el área controlada, por supuesto esto es hipotético.

Trabajo de Campo : el levantamiento batimétrico se realiza utilizando todo el equipo mencionado en el literal a) del ítem 4.3 de este mismo capítulo, ya instalado sobre una lancha (Ver figura No.62), la cual posteriormente

recorre cada una de las secciones transversales registrando durante este trayecto el perfil del fondo del embalse.

Trabajo de Gabinete : una vez recolectada la información de campo es necesario realizar los cálculos correspondientes para determinar el volumen de sedimento registrado en el área controlada por las 10 secciones transversales, lo que se realiza de la siguiente manera :

- 1.- Los perfiles obtenidos por medio de la ecosonda son trasladados a escalas adecuadas en papel milimetrado (Ver figuras de la No.63 a la 68).
- 2.- Posteriormente se calcula el área útil de cada uno de los perfiles (área entre las cotas 243 y 228, máxima y mínima respectivamente), para cada año en particular.
- 3.- Se determina el área útil promedio entre cada uno de los perfiles de las secciones transversales, y este resultado se multiplica por la distancia promedio entre secciones consecutivas, obteniéndose de esta manera el volumen útil de embalse entre secciones transversales, para cada año en particular (Ver cuadros No.39 y 40). Este cálculo es necesario realizarlo debido a que CEL no cuenta con los perfiles originales de éstas secciones, por lo tanto el volumen del sedimento será, la diferencia entre el volumen útil más reciente y el

volumen útil inicial del área controlada del embalse.

- 4.- Una vez determinados los volúmenes útiles del área controlada del embalse, se procede a encontrar la diferencia de volúmenes útiles en el período comprendido entre los años de 1979 a 1992 (Ver cuadro No.41), obteniéndose de esta manera la disminución que ha experimentado el embalse en su volumen útil, considerándose que esta diferencia representa la cantidad de sedimento acumulado dentro del área controlada por CEL en el reservorio.

Los resultados obtenidos por medio del método batimétrico, son los siguientes :

VOLUMEN UTIL AÑO 1979	377,973,394.27 M3.
VOLUMEN UTIL AÑO 1992	282,201,287.90 M3.
SEDIMENTO ACUMULADO (13 AÑOS)	95,772,106.37 M3. ✓
SEDIMENTO PROMEDIO POR AÑO	7,367,085.11 M3. ✓

Dentro del período de funcionamiento de la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande (1976 - 1992), existen 3 años (1976 - 1979) durante los cuales no fué posible efectuar la batimetría del embalse, por lo tanto se asumirá un volumen de sedimentación promedio por año, igual al

determinado en el área controlada por CEL para el periodo 1979 - 1992.

SEDIMENTO PERIODO 1979 - 1992	95,772,106.37 M3.
SEDIMENTO PERIODO 1976 - 1979	22,101,255.33 M3.
SEDIMENTO TOTAL AREA CONTROLADA	117,873,361.70 M3.
SEDIMENTO AREA NO CONTROLADA (HIPOTETICO 75%)	165,278,952.80 M3
TOTAL DE SEDIMENTO	283,152,314.50 M3
SEDIMENTO PROMEDIOPOR AÑO	17,697,019.66 M3

El resultado anterior indica que un 56.07% del suelo que pierde la cuenca media-alta del Río Lempa, va a parar al embalse del Cerrón Grande (ver Capítulo III).

4.5.2 METODO ESTADISTICO PARA SOLIDOS TOTALES.

Este método se basa en los resultados obtenidos en el capítulo II de este trabajo de graduación, los cuales fueron determinados por medio de la relación que guarda el caudal sólido (Q_s) con el caudal líquido (Q_l), utilizando para esto las ecuaciones exponenciales de la anterior relación, determinadas en aforos del Río Lempa en la estación hidrométrica Poza del Silencio, en el periodo comprendido entre los años 1971-1976.

De las 5 ecuaciones exponenciales graficadas en la Fig. No. 22 del capítulo II de este trabajo, se escogió la más desfavorable, que resultó ser :

$$Q_s = (0.22 * Q_1)^{2.62}$$

De esta ecuación, aplicada al período de funcionamiento del embalse del Cerrón Grande (1976-1992), resulta un volumen bruto de 201,686,467.22 M3. de sedimento en suspensión que hubiera pasado por el sitio en donde se encuentra ubicada la estructura de la presa, sin embargo el reservorio a actuado como un enorme desarenador, el cual ha retenido un alto porcentaje del sedimento. Para el cálculo del volumen neto depositado en el fondo es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones :

1. De acuerdo a los análisis realizados a muestras de agua recolectadas aguas arriba y aguas abajo del embalse, se obtuvo como resultado un patrón de sedimentación de partículas en suspensión de 87.69 %, es decir el 12.31 % restante abandona el reservorio por medio del agua turbinada o por demasias en los vertederos. Entoces se puede concluir que la cantidad neta de sedimento en suspensión que se ha depositado en el fondo del embalse es de 176,858,863.10 M3.

2. La proporción de los sólidos transportados en suspensión y los que son arrastrados por el fondo es muy

variada, pero generalmente se acepta que el gasto sólido en suspensión es mayor. Existen algunos métodos teóricos que calculan la cantidad de sedimento arrastrado por el fondo, sin embargo muchos autores como G. M. Brune aseguran que el resultado estará enmarcado entre el 10 y 25% de la carga del sedimento suspendido. De acuerdo a lo anterior, para el cálculo del sedimento arrastrado por el fondo se tomará el valor del 25%, siendo éste el más desfavorable.

SEDIMENTO EN SUSPENSION	176,858,863.10 M3.
SEDIMENTO DE FONDO	44,214,715.78 M3.
SEDIMENTO TOTAL NETO	221,073,578.88 M3.

Este resultado indica que un 43.78 % del suelo perdido por la cuenca media-alta del río Lempa, va a parar al embalse del Cerrón Grande.

4.6 EFECTOS POR LA PERDIDA DE CAPACIDAD DEL EMBALSE.

4.6.1 DISMINUCION EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

La reducción de la capacidad del embalse por efecto de la sedimentación, es actualmente uno de los problemas más preocupantes que afecta directamente la economía del país. Todo reservorio está diseñado para ser operado dentro de

ciertos límites de funcionamiento. Estos límites están determinados por las alturas máximas y mínimas, para el caso del Cerrón Grande, son las cotas 228 m.s.n.m. y 243 m.s.m.n. respectivamente, dentro de los cuales el embalse puede cumplir con el propósito principal para el cual fué construido. Estas alturas determinan a la vez la capacidad activa o efectiva; para este caso en particular el embalse del Cerrón Grande fué diseñado con fines de generación de energía eléctrica, por lo tanto es importante establecer las relaciones entre la capacidad activa del reservorio, la potencia de la central hidroeléctrica y la evolución de la misma a través del tiempo.

Se sabe que la potencia de una central hidroeléctrica es función de la altura de agua de su embalse ($h_{min} < h < h_{max}$), la cual se establece por medio de la siguiente relación :

$$P = 9.8 * Q * h * e$$

Donde :

P : Potencia en Kw.

Q : Caudal turbinado en m³/seg.

h : Altura en m.

e : Eficiencia de las turbinas (0.85 a 0.91).

Por tanto, la potencia instalada de una central hidroeléctrica estará cubierta cuando "h" alcance su valor máximo, h_{max} , como se muestra en la Fig. No.69 , situación que normalmente ocurre durante el período lluvioso.

La energía generada por una central hidroeléctrica es función de la potencia y del tiempo que se mantenga trabajando, esta situación se establece por medio de la siguiente ecuación :

$$E = \int_0^t P(t) dt$$

Donde :

E : Energía en Kw-h.

P : Potencia en Kw.

t : tiempo en Hrs.

Esta relación queda plenamente evidenciada en al figura No.70. Consecuentemente analizando las expresiones anteriores, se deduce que la energía generada por una central hidroeléctrica, disminuirá a través del tiempo, debido principalmente a la acumulación de sedimentos en el reservorio, los cuales van reduciendo la capacidad activa de éste (entre hmax. y hmin.) y por lo tanto el tiempo de generación (vida útil) también disminuye. Tal situación se puede observar claramente en la figura No.70; esto significa que al cabo de "n" años la central solo generará energía con el caudal del río (generación a filo de agua). Este caso queda plenamente evidenciado con la situación de la central hidroeléctrica 5 de Noviembre.

Esta tendencia, en el caso del embalse del Cerrón Grande, puede agudizarse o mejorarse, dependiendo de las medidas que se puedan adoptar para superar esta situación. Dichas medidas serán planteadas y discutidas en el capítulo V de este trabajo de graduación.

4.6.1.1 PERDIDAS ECONOMICAS POR LA DISMINUCION EN LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA.

Es evidente que el volumen útil que está siendo sustituido año con año en el Embalse del Cerrón Grande, ocasiona pérdidas económicas considerables, ya que los kilowatts-hora que se dejan de producir con este volumen perdido, son generados por medio de las plantas térmicas; de lo contrario existiría un desequilibrio en el sistema eléctrico a nivel nacional, debido principalmente a que la demanda sería más alta que la producción de la energía eléctrica. En el cuadro No.42 se presenta un análisis económico de las pérdidas de energía por sustitución desde que la Central Cerrón Grande entró a formar parte del sistema eléctrico nacional y al mismo tiempo empezó el proceso de sedimentación en su reservorio, también en la figura No.71, se presenta una proyección de las pérdidas económicas a través del tiempo.

4.6.2 ACORTAMIENTO DE LA VIDA UTIL DE LA PRESA.

Según lo analizado anteriormente, las condiciones iniciales del embalse del Cerrón Grande en lo que a volumen útil se refiere, ha sido afectado considerablemente por los efectos de la sedimentación. Originalmente este reservorio fué diseñado para una vida útil de 100 años, pero si se toma en cuenta que el área de control tiene un volumen de sedimento igual a 283,152,314.50 M3., lo cual representa el 19.8% del volumen útil total del embalse, esto significa que de mantenerse esta tendencia el reservorio en realidad tendrá una vida útil de 80 años.

Por otra parte haciendo un análisis con los datos obtenidos estadísticamente se tendría que el porcentaje de volumen útil perdido con respecto al total significa un 15.5 %, esto significa que el embalse cumplirá casi justo con su período de diseño, siempre y cuando se mantengan o se mejoren las condiciones actuales, de lo contrario si la cuenca se continúa deteriorando, la vida útil de este reservorio se vería seriamente amenazada.

C A P I T U L O V

PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA

5.0 INTRODUCCION

En este Capítulo se hará un análisis de las posibles soluciones al problema de la sedimentación en el embalse del Cerrón Grande, para ésto se propondrán algunas alternativas que ofrecen desde una solución parcial, como lo es el dragado del embalse, hasta una solución integral, como lo es el manejo de la cuenca, lo cual significa prácticas agrícolas y de protección para esta área .

Para llevar a cabo un análisis eficiente de las alternativas de solución, se contará con la información recopilada en los capítulos anteriores del presente trabajo de graduación, consistente en la determinación del aporte potencial de sedimentos de las principales subcuencas del río Lempa, tributarias al embalse del Cerrón Grande y el diagnóstico integral de la situación actual de la sedimentación del reservorio antes mencionado.

Finalmente, a cada una de las posibles soluciones del problema, se le hará un análisis técnico-económico para conocer tanto su factibilidad técnica, como los respectivos montos de inversión, lo cual será tomado muy en cuenta a la hora de emitir las conclusiones y recomendaciones que a esté

respecto se verterán en el capítulo VI de este mismo trabajo.

5.1 GENERALIDADES

Un alto porcentaje del área aguas arriba del embalse del Cerrón grande es de las más quebradas y escarpadas del país, y desde años atrás exhibe cierto grado de deforestación y degradación de los recursos naturales, situación que últimamente se ha acentuado, tal como se ha hecho énfasis en el Capítulo I de este mismo trabajo.

En áreas como las antes mencionadas el agua llovida no se deposita en los distintos mantos, sino que corre desenfrenadamente por las pendientes, arrastrando con ella a la capa de tierra vegetal y todo tipo de sedimento que puede encontrar, tal como se demostró en el Capítulo III; este caudal sólido en su mayoría se deposita en el fondo del reservorio del Cerrón Grande, reduciendo así su capacidad para almacenar agua, y acortando por lo tanto la vida útil del mismo, tal como se pudo constatar en el capítulo anterior.

El principal objetivo del presente Trabajo de Graduación es de proponer una alternativa de solución que

pueda minimizar el efecto causado por el transporte y acumulación de sedimentos en el embalse del Cerrón Grande.

Esta solución teóricamente debe disminuir al más breve plazo las condiciones que han provocado la pérdida de capacidad del reservorio, y la pérdida de suelo fértil, causado en términos generales por la falta de cobertura vegetal en el área de la cuenca del embalse del Cerrón Grande; así como también, ésta debe de ser económica, social y ecológicamente factible.

Como alternativas de solución se considerarán las siguientes :

1. Control de Torrentes y escorrentia superficial
2. Dragado del embalse
3. Manejo de la cuenca (Reforestación de áreas críticas)

5.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

5.2.1 CONTROL DE TORRENTES Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL (CONSTRUCCION DE DIQUES EN RIOS TORRENCIALES).

La presencia de zanjas y cárcavas en el área del embalse del Cerrón Grande, es el resultado originado por muchas causas, lo cual no solo representa la pérdida del

suelo fértil, sino que también dificulta el laboreo de las tierras agrícolas.

Entre las causas generadoras de este tipo de erosión están unas de tipo independiente al hombre, tales como los factores climáticos, geológicos y topográficos; y por otra parte los elementos dependientes del hombre, tales como los problemas sociales, económicos y culturales. Sumadas ambas causas, se genera el mal uso de los recursos naturales, lo cual repercute en el deterioro permanente y progresivo de los mismos.

Por lo anterior se considera necesario abordar el tema del control y estabilización de zanjas , cárcavas y ríos torrenciales, a través de la construcción de muros o diques, los cuales deben de ser seleccionados según las características del sitio a proteger, materiales disponibles y condiciones económicas de las entidades involucradas en esta problemática.

Para poder dar una solución adecuada al problema, es necesario proporcionar los elementos técnicos para la construcción de las obras que pueden ser utilizadas en el control de la erosión en zanjas y en los cauces de los ríos torrenciales, lograndose también el mejoramiento de tierras para fines agropecuarios.

De acuerdo a la capacidad de uso de las tierras de la cuenca del embalse del Cerrón Grande, la mayoría de ellas se encuentra en estado de deterioro, las cuales con toda certeza necesitan de muchas medidas de protección, entre las cuales está el control de drenajes a través de la construcción de diques transversales y laterales (Ver figura N° 72), como parte de la conservación integral de tierras con fines productivos y protectivos.

TEORIA DE DIQUES

Los muros o diques pueden ser transversales a un curso de agua con fines funcionales de retención de materiales o sea para la estabilización de áreas críticas [15].

También los hay con ubicación lateral para proteger márgenes de ríos (deflectores gavionados) o de contención para estabilización de taludes. Los diques más conocidos en nuestro medio son los gavionados, de mampostería, muro seco y palo pique.

El número de diques necesarios para estabilizar un determinado drenaje dependerá de la longitud de éste y la pendiente del cauce, utilizando el método "corona-pie".

[15] Aguilar Molina, Carlos Alberto, "La Conservación de Suelos, una versión integral", Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Enero 1987.

Sin embargo, además de aplicar este procedimiento de ubicación de diques, debe ser tomada en cuenta la pendiente de compensación entre diques vecinos, puesto que el material retenido no queda finalmente en un plano horizontal (Ver figura N° 73).

a) Mampostería Hidráulica.

Este tipo de muro es recomendable para sitios estables (lecho rocoso o toba consolidada), para reducir la posibilidad de su resquebrajamiento deberá llevar drenes a razón de uno (1) por cuatro (4) metros cuadrados de área del dique (Ver figura N° 74).

Para lograr un dimensionamiento óptimo se emplea la siguiente expresión matemática :

$$B = \sqrt{1.25 E_c^2 + 0.5 H^2} - E_c/2$$

Donde:

B = Espesor de la base en metros

E_c = Espesor de la corona en metros, en el fondo
del vertedero

H = Altura en metros

DIMENSIONES (metros)

Altura	Espesor de la Corona	Espesor de la Base
1.00	0.50	0.65
1.50	0.50	0.95
2.00	0.50	1.30
2.50	0.60	1.60
3.00	0.60	1.95
3.50	0.70	2.25
4.00	0.70	2.60

b) Gaviones

Recomendados para sitios inestables por su capacidad de acondicionamiento en el lugar de construcción, según los cambios que pueda sufrir una sección o márgenes de drenajes o cursos de agua. (Ver figura N° 75)

Estos casos se presentan en sitios arenosos, limosos y ceniza volcánica. Debido a su permeabilidad no retienen sedimentos finos (arcilla, limo).

Dimensiones tipo rectangular (metros)

Largo	Ancho	Alto		Volumen(m3)	
		a	b	a	b
2.00	1.00	0.50	1.00	1.00	2.00
3.00	1.00	0.50	1.00	1.50	3.00
4.00	1.00	0.50	1.00	2.00	4.00
5.00	1.00	0.50	1.00	2.50	5.00

c) Muro Seco

Son utilizados para estabilizar drenajes que no presentan mayores problemas de inestabilidad o severidad de erosión. Son construidos preferentemente con piedra existente en el lugar.

Para lograr un dimensionamiento óptimo se emplea la siguiente expresión matemática :

$$B = \sqrt{1.25 E_c^2 + H^2} - E_c/2$$

Donde:

B = Espesor de la base en metros

E_c = Espesor de la corona en metros, en el fondo del vertedero

H = Altura en metros

Dimensiones en metros

Altura	Espesor corona	Espesor base
1.00	0.50	0.90
1.50	0.60	1.35
2.00	0.80	1.80
2.50	1.00	2.25
3.00	1.00	2.70

d) Dique de madera (Palo Pique)

Para sitios con menores problemas de erosión, la altura mayor recomendada es de 1.50 metros (Ver figura No.76), considerandose las siguientes recomendaciones :

- Deben ser contruidos cuando no hay existencia de piedra en el lugar.
- De preferencia deben usarse postes de la vegetación propia del lugar y con capacidad de rebrote.
- Si no hay posibilidad o conveniencia de rebrote, los postes a usarse deben ser curados para aumentar su duración y control.

e) COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS DIQUES.

1) Altura de Vertedero (Profundidad).

A los diques transversales hay que construirlos y diseñarles, un vertedero que permita la canalización del caudal líquido y sólido transportado a través del drenaje a estabilizar (Ver figura N°72). Para fines de diseño de este vertedero hay que conocer el caudal máximo que pasa por ese sitio.

Para un mejor cálculo de la altura del vertedero se usará la siguiente expresión matemática :

$$h = \left(\frac{Q^2}{g d^2} \right)^{1/3}$$

Donde :

h = Altura del Vertedero en metros

Q = Caudal máximo en m³/seg.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg²)

d = Ancho del Vertedero

2) Delantal.

Para proteger el dique transversal de la caída del agua que pasa a través del vertedero y evitar la socavación que pueda suceder en el pie del mismo. Su ancho debe ser igual o mayor al ancho del vertedero y su largo, una distancia mínima de 1.5 veces la altura del dique. Consiste en un emplantillado con piedra y de preferencia fortalecido con mezcla de arena y cemento. Su espesor puede ser de unos 20 centímetros (Ver figura N° 72).

3) Contradique.

Pequeño dique construido a ras del lecho del drenaje para proteger la estabilidad del dique transversal, ubicado aguas abajo y contiguo al delantal (Ver figura N°72).

5.2.1.1 ANALISIS TECNICO.

El Salvador es un país con un régimen hidrológico muy irregular, por lo tanto sí a ésto se le agrega un mal manejo de los recursos Suelo y Agua, principalmente en zonas con laderas de grandes pendientes como la cuenca del Embalse del Cerrón Grande, se obtiene que en época lluviosa ríos y quebradas sufren fuertes crecidas y como consecuencia altos caudales líquidos y sólidos, mismos que conducen grandes volúmenes de sedimento en suspensión y de fondo, los cuales se depositan en cantidades considerables en las desembocaduras de los ríos afluentes al reservorio antes mencionado.

Es por esta causa que se ha incluido como alternativa de solución la construcción de muros o diques para la contención del sedimento que transportan los ríos de la parte norte del embalse, por ser éstos los que más sedimento de fondo aportan al mismo, ya que son clasificados por los expertos como "Torrentes", debido a sus fuertes pendientes y alta capacidad erosiva. Los ríos considerados para la aplicación de esta alternativa son:

- Grande de Chalatenango
- Metayate
- Tamulasco
- Azambio
- Soyate

- El Potrero
- Las Minas
- Motochico
- San Miguelito
- Chacahuaca
- Zacuapa

DISEÑO DEL DIQUE TIPO:

Para el diseño del dique tipo se tomarán en cuenta todos los parámetros físicos propios de cada uno de los ríos seleccionados para la aplicación de la alternativa, los cuales se muestran en el Cuadro No. 37 , siendo los mismos calculados en base a los Cuadrantes Cartográficos en escala 1:50,000, además como información importante se tiene que todos éstos ríos presentan suelos semipermeables, por lo que se escogió el Dique Gavionado como la mejor alternativa de diseño, principalmente por ser de alta permeabilidad, eliminandose de esta manera las fuertes presiones hidrostáticas a que generalmente están sometidos otros tipos de muros. El método ha desarrollarse fué diseñado por técnicos que actualmente laboran en CEL (16), y será descrito en forma teórica a lo largo de todas sus etapas.

[16]Rivas, Jorge Adalberto, "Cálculo y Diseño de Dique o Muro Torrencial Gavionado en el río Cauta", Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Enero 1987.

CALCULO HIDRAULICO

Este nos permite determinar las dimensiones de los diferentes componentes del dique en base al Caudal de Diseño (Ver Cap.III), encontrado con la siguiente información:

- Area de la subcuenca (Km2.)
- Longitud del cauce más largo (Kms.)
- Altura máxima (m.s.n.m.)
- Altura mínima (m.s.n.m.)
- Tipo de suelo
- Pendiente máxima (S)
- Tipo de Vegetación
- Coeficiente de Escorrentía (C)
- Tiempo de Concentración (horas)

$t_b = t_{lag} + t_p$, Donde: t_b = Tiempo Base

t_{lag} = Tiempo de Retardo

t_p = Tiempo Pico

- Ancho del Cauce (B) en metros

TIRANTE DEL FLUJO UNIFORME (du)

$$du = \left(\frac{Q}{C \times B \times (S)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

VELOCIDAD DEL FLUJO UNIFORME (vu)

$$vu = \left(\frac{Q}{B \times du} \right)$$

VELOCIDAD CRITICA (vc)

$$vc = \sqrt{g} \times du$$

En el caso de que vu sea mayor que vc, se tendrán condiciones de flujo supercrítico.

VERTEDERO

Se propondrá un dique con Tanque Disipador no revestido (ver figura No. 77).

Se propondrá un largo de vertedero (Lv) igual al ancho del cauce más 2 metros.

Caudal Unitario (qd)

$$qd = \frac{Q}{Lv}$$

Tirante aguas arriba del vertedero no afectado por el remanso (d), referenciado al nivel del vertedero.

$$De Q = \mu \times Lv \times d \times \sqrt{2gd}$$

$$de \text{ Donde } d = \left(\frac{Q^2}{2g \times \mu^2 \times Lv^2} \right)^{1/3}$$

Se recomienda ajustar este resultado al medio metro superior.

TANQUE DISIPADOR

Se asumirá una altura de crecida máxima de 5 a 10 metros, proponiéndose una sección como la mostrada en la Figura No. 78 .

Profundidad de socavación (Ps)

$$Ps = \frac{\frac{0.2}{(H1)} + \frac{0.57}{(qd)}}{0.32 \text{ (Dt)}}$$

Donde :

H1 = Carga o altura entre el nivel de la superficie del flujo aguas arriba del vertedero y el nivel de la superficie del flujo aguas abajo del contradique.

D_t = Diámetro del tamiz que permite el paso del 90% en peso de una muestra representativa del sedimento arrastrado por el cauce.

Profundidad de la fundación para el dique (P_{fd})

$$P_{fd} = P_s - d_u$$

Cuando la profundidad de Socavación tenga un valor considerado "alto", se propondrá la construcción de un contradique con la idea de elevar la cota del nivel del agua, aguas abajo, para así poder reducir la profundidad de socavación.

Largo del vertedero del Contradique (L_{vc})

Se propondrá el mismo largo que el del Vertedero del Dique.

Caudal Unitario del Contradique (q_{cd})

$$q_{cd} = \frac{Q}{L_{vc}}$$

Tirante o altura de agua (d_2)

$$De Q = \mu \times L_{vc} \times d_2 \times \sqrt{2gd_2}$$

$$\text{de Donde } d_2 = \left(\frac{Q^2}{2g \times \mu^2 \times Lvc^2} \right)^{1/3}$$

Se sugiere redondear al medio metro proximo superior.)

Profundidad de socavación del Contradique (Psc).

$$qcd = \frac{Q}{Lvc}$$

$$Psc = \left(\frac{(H_1)^{0.2} \times (qcd)^{0.57}}{0.32 \times Dt} \right)$$

Profundidad de Fundación del Contradique (Pfc).

$$Pfc = Psc - d$$

Longitud del Tanque Disipador (Ltd).

$$Ltd = 6 \times d$$

Altura del flujo al pie del dique, bajo la masa de aire (d3), (ver figura No.79).

$$d_3 = d_s \left(\frac{Q^2}{g \times a d^2 \times d_s^2} \right)^{0.22}$$

Donde:

d_s = Altura útil del dique

a_d = Ancho del dissipador = L_{vc}

VERIFICACION DEL SIFONAMIENTO

Longitud recorrida por la filtración del agua por abajo y a los lados de la estructura (L), la cual debe cumplir con la siguiente condición :

$$L > C \times \Delta H$$

Donde:

C = Coeficiente que depende de la naturaleza del terreno (suelo), en este caso del lecho del río ($C \approx 0.6$).

ΔH = Desnivel entre los niveles de agua, aguas arriba y aguas abajo del dique ($\Delta H \approx H_1$).

(L) también se considera como la profundidad recomendada para la fundación del dique, en caso ésta sea demasiado grande y exceda a las profundidades de cimentación ya calculadas, se considerará entonces la construcción de un delantal (emplantillado) aguas arriba del dique.

VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD

Sí se considera que el dique será construido con rocas basálticas y caliza dura, se tendrá lo siguiente :

- Peso Específico de las rocas (\check{s} s)
- Diámetro medio de las rocas = 15 - 25 cms.
- Se considerará una porosidad (n) = 0.30 .

Peso específico de Gaviones Rellenos (\check{s} gr).

Para encontrar el peso específico de los Gaviones ya rellenos, se utilizará la Figura No. 80, ingresandose con el valor de la porosidad (n) y con el peso específico de las rocas (\check{s} s), encontrándose el valor de (\check{s} gr).

Peso específico de Gaviones Saturados (\check{s} ws).

\check{s} ws = [\check{s} s (1-n) + n x \check{s} m], Donde:

\check{s} m = Peso específico del agua turbia (1000 Kg/m³.)

Peso específico de terreno seco (\check{s} to).

Se considerará que se tiene suelo sedimentario con peso específico \check{s} ss= 2,200 Kg/m³., y una porosidad de n = 0.20, se tiene entonces :

$$\check{s}to = \check{s}ss (1 - n)$$

Peso específico del terreno saturado ($\check{s}t1$).

$$\check{s}t1 = \check{s}ss (1 - n) + n \check{s}m$$

Peso específico del terreno sumergido ($\check{s}tw$).

$$\check{s}tw = (\check{s}ss - \check{s}m) (1 - n)$$

ANALISIS DE CARGAS

EMPUJES HIDROSTATICOS

Fuerza Hidrostática, sobre paramento aguas arriba (Ewa)

$$Ewa = \frac{1}{2} \check{s}m [(h1 + h2 + h3)^2 - h1^2]$$

Se tiene que tomar en cuenta que (Ewa) pasaría a 1/3 de la altura total, a partir del plano AB, según la figura No.81 .

Fuerza Hidrostática, sobre paramento aguas abajo (Ewb)

$$Ewb = 1/2 \check{s}m (h4 + h5), \text{ Donde } h5 = h3$$

La fuerza resultante del empuje hidrostático (Ewb), pasará por 1/3 de la altura total considerada.

EMPUJE DE TIERRAS

Empuje de tierras aguas arriba (Eta).

$$E_{ta} = 1/2 \gamma w (h_2 + h_3)^2 K_a$$

Donde:

$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$, y depende de las características del suelo.

ϕ = Angulo de fricción interna, depende de las características del terreno, pero en este caso se asumirá que $\phi = 0.30$ por tratarse de suelos poco coherentes.

Empuje de tierras aguas abajo (Etb).

$$E_{tb} = 1/2 \gamma w h_5^2 K_a$$

La fuerza resultante del empuje activo (Etb), estará pasando por 1/3 de la altura considerada.

Fuerza de Subpresión (Fsw).

$$F_{sw} = \frac{\gamma_w (h_1 + h_2 + h_3) + \gamma_w (h_4 + h_5)}{2}$$

La fuerza resultante (Fsw) estaría pasando a 2/3 del plano AB, (ver figura No. 82).

PESOS

Peso de Gavión Seco (Pgr).

$Pgr = \text{Volumen de obra} \times \check{s}gr$

Peso de Gaviones Mojados o Saturados (Pws).

$Pws = \text{Volumen de obra} \times \check{s}ws$

ESTABILIDAD AL VUELCO

Fuerzas Estabilizantes

Peso del agua sobre el vertedero (Pwv).

$Pwv = (\text{Lámina de agua sobre Vertedero} \times \text{largo} \times \text{ancho})$
 $\times \check{s}m.$

Peso del agua sobre los escalones (Pwe).

$Pwe = (\text{Lámina de agua sobre los escalones} \times \text{largo} \times$
 $\text{ancho}) \times \check{s}m.$

Peso del terreno sobre los escalones (Pte).

Pte = (lámina de tierra sobre los escalones x largo x ancho) x što.

En el cuadro No. 44, se muestran las dimensiones de cada una de las partes de los Diques sobre los ríos al norte del embalse del Cerrón Grande, las cuales serán consideradas en la alternativa de Control de Torrentes, calculada en base a la anterior metodología, estos diques serán ubicados estratégicamente en cada uno de los ríos antes mencionados, de acuerdo con la figura No.83 .

5.2.1.2 ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico se basará en los costos que genera la obra proyectada, además de traer a cuenta los beneficios, tanto económicos como sociales, y de impacto ambiental que ésta pueda generar; además pueden presentarse algunas características como las siguientes:

- En algunos casos los precios pueden cambiarse con la intención de reflejar los verdaderos valores sociales y económicos.

- Los impuestos son parte del beneficio global del proyecto y un subsidio es un costo para la sociedad, ya que se trata de un gasto de la economía.

- Los intereses del capital no se separan y se deducen del rendimiento bruto, ya que son parte del rendimiento global del capital.

- En la evaluación económica, cuando se recibe capital a préstamos se incluye en la corriente de ingresos.

Para determinar el costo total de la alternativa, se partió de lo más elemental, en este caso, el cálculo del costo del metro cúbico de Dique Gavionado estandar (Ver Cuadro No.45), dando el siguiente resultado:

Materiales	¢ 457.26
Mano de Obra	¢ 163.40
Herramientas	¢ 8.17
Transporte	¢ 100.00
Imprevistos (10%)	¢ 72.88
Costos Indirectos (45%)	¢ 360.77

T O T A L	¢1,162.48

En base al resultado anterior, y conociendo las dimensiones de cada uno de los diques proyectados para los

ríos afluentes al Norte del Embalse del Cerrón Grande (ver cuadro No.44), se pueden calcular los volúmenes de Gavionado necesarios para la construcción de cada uno de ellos, y en consecuencia conocer el costo individual y general de la alternativa de Control de Torrentes, según se muestra en el Cuadro No.46 .

El resultado global de la aplicación de la alternativa es de ¢8,537,689.05 .

En cuanto al cálculo de los ingresos económicos que se percibirían con la aplicación de la alternativa de los Diques Gavionados, se partirá del hecho de el sedimento retenido por éstos ya no llegará al embalse, convirtiéndose entonces en volumen útil. De tal manera que se asumirá que los diques retendrán un aproximado del 1% del sedimento que anualmente llega al embalse, esto equivaldría a retener cada año 73,670.85 metros cúbicos de sedimento (Solo en el área controlada por CEL).

Ya que este sedimento dejaría de llegar al embalse y se convertiría en volumen útil que puede ser generado, entonces es factible realizar un cálculo del beneficio aproximado, si sabemos que CEL genera 7.78 Kw/hora por cada metro cúbico de agua, tendríamos un total generado de 573,159.22 Kw/hora, mismos cuyo valor comercial conocemos, dando un gran total anual en el valor de recuperación de ¢ 206,337.32 .

En cuanto al beneficio social, se puede aducir que la construcción de los diques producirá cierta retención de agua, por lo que estos pequeños embalses podrán ser utilizados, tanto en actividades de esparcimiento, pesca, así como para fines de riego, lo cual generará cierto desarrollo en la agricultura, redundando en un incremento aproximado del 25% en la producción agrícola [17].

5.2.1.3 ANALISIS FINANCIERO

Para el análisis financiero se tomará en cuenta el rendimiento que del proyecto se obtiene sobre el capital que se aporta, aquí se pretende demostrar la viabilidad del mismo, desde el punto de vista que puede tener un empresario a la hora de invertir en una determinada obra, para esto es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Se deben utilizar los precios de mercado, incluidos impuestos y subsidios.

- Se deben de considerar los impuestos como costos y los subsidios como ingresos.

[17]Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.),
"Censo Agropecuario 1983", Enero 1984.

- Los intereses pagados al capital se deben considerar como costos y el reembolso de capital tomado a préstamo se deduce, antes de llegar a la corriente de beneficio.

- Es preciso tener en cuenta el capital exterior tomado a préstamo por la entidad que emprende el proyecto.

Para llevar a cabo el análisis financiero del proyecto se supondrá un préstamo para cubrir la inversión, en este caso, en su totalidad.

Las condiciones de crédito serán las que maneja actualmente el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), las cuales son las siguientes:

- Monto a financiar : En su totalidad
- Interés : 8% anual de interés simple
- Amortización : Cuotas iguales en un plazo máximo de 30 años.

- En el primer año solo se pagarán intereses sin amortización al capital.

En el Cuadro No.47 se plasman las anteriores condiciones en términos económicos, mostrando además los indicadores económicos más usados en evaluaciones financieras como lo son el Valor Actual Neto (VAN), La Tasa

interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio-Costo (B/C).

5.2.2 DRAGADO DEL EMBALSE.

En los Capítulos III y IV de este trabajo, quedó evidenciada la grave situación por la que atraviesan, tanto la cuenca del embalse del Cerrón Grande, a causa de la pérdida de suelo, como el reservorio mismo debido a la gran cantidad de sedimento acumulado en su lecho. Esto último, según lo ya demostrado, causa serios efectos por la pérdida de capacidad del embalse, tales como la disminución de la capacidad de generación de energía eléctrica, lo cual lleva asociada una pérdida económica que se incrementa año con año a medida continúa el flujo del sedimento hacia el embalse; así como también el acortamiento de la vida útil del reservorio es cada vez más evidente.

Por lo antes expuesto consideraremos como posible alternativa de solución de la anterior problemática, el desalojo sistemático del sedimento depositado principalmente en la entrada del embalse del cerrón Grande , a través de poderosas máquinas que realizarán esta difícil y costosa tarea, conocida como DRAGADO.

5.2.2.1 Análisis Técnico.

A nivel internacional la técnica del dragado a tomado un gran auge, en las últimas dos décadas a experimentado un desarrollo acelerado, a tal grado de contarse actualmente con maquinaria y equipo altamente sofisticado, ver figura No. 84, con la enorme ventaja de ofrecer concentraciones de material sólido de hasta un ochenta por ciento, del volumen total evacuado.

Técnicamente el dragado no es más que el desalojo del material sólido depositado en el fondo de un reservorio, a través de barcazas equipadas con un sistema de succión, el cual bombea dicho material hacia la superficie y lo deposita en el sitio previamente determinado para esto.

EQUIPO A UTILIZAR

El equipo a utilizar, sería proporcionado por una empresa japonesa llamada KURIMOTO, LTD., a través de COMSA, empresa subsidiaria radicada en El Salvador, según el siguiente detalle :

- Una barcaza de 8.00 mts. de ancho por 60.00 mts. de largo y un calado de 2.25 mts., equipada con dos motores diesel.

- Una draga tipo 2300D, con un diámetro de succión de 24 pulgadas, con una profundidad de dragado efectivo de

15.00 mts., con un volumen de descarga de 4500 m³/hora, lo cual equivale a 3600 m³/hora de sedimento desalojado.

- Una tubería flexible de 24 pulgadas de una longitud máxima para descarga de 3200 metros.

PLAN DE EJECUCION DE LA ALTERNATIVA

Para llevar a cabo la ejecución de esta alternativa de solución, se considerará el uso de 2 barcazas e igual número de dragas, las cuales funcionarán 8 horas diarias, 5 días a la semana, durante un período total de 5 años, logrando desalojar del embalse del Cerrón Grande un total aproximado de 80 millones de metros cúbicos de sedimento; sin embargo es importante mencionar que en la época de estiaje se desalojará también un aproximado del 20% de volumen útil del reservorio extraído por las dragas, representado por el agua mezclada juntamente con el sedimento, lo cual representará un saldo negativo, ya que el embalse, durante este período, no recibe agua precipitada.

Las zonas escogidas para realizar el dragado, serán aquellas en donde se evidencia que el sedimento a invadido el volumen útil del embalse o sea arriba de la cota 228 m.s.n.m., ésto es fácilmente comprobable a través de las secciones de control del reservorio (ver figuras de la No. 63 a la No. 68).

DISPOSICION DEL SEDIMENTO DRAGADO

La disposición del sedimento extraído del fondo del embalse, se hará de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Generalmente la deposición del material sólido extraído de un reservorio, se realiza vertiendolo aguas abajo de la estructura de la presa; sin embargo, en este caso no sería factible, ya que de hacerlo así se estaría agravando aún más el problema de asolvamiento que sufre actualmente el embalse de la Central 5 de Noviembre.

- De acuerdo a lo anterior, la mejor manera en este caso, para la disposición del sedimento, sería contar con una zona de deposición del material sólido, la cual tendría que cumplir con ciertas características físicas, por ejemplo:

- a) Debe ser un área de poco valor agrícola.
- b) Debe asemejarse o ser una microcuenca que ofrezca facilidad de formar un pequeño embalse que permita el almacenamiento y posterior desecación del material sólido.
- c) EL volumen de almacenamiento de la microcuenca debe de tener la suficiente capacidad como para que el proyecto sea factible.

De acuerdo a las características mencionadas anteriormente, y mediante una revisión concienzuda del área del embalse del Cerrón Grande en mapas cartográficos

1:25,000, en un radio que no exceda los 3,200 metros lineales a partir de la curva de nivel 243 m.s.n.m., se determinó que no existe una zona con las características físicas enumeradas anteriormente, lo cual nos indica que para poder llevar a cabo el proyecto de esta alternativa de solución, será necesaria la construcción de un pequeño embalse, el cual como ya se mencionó, servirá para depositar el sedimento extraído del reservorio. Esta zona o zonas, en el caso de distribuir el sedimento en varios depósitos, estará ubicada hipotéticamente a una distancia de 3,200 metros del embalse del Cerrón Grande, y tendrá un área total de 8 kilómetros cuadrados y una profundidad promedio de 10 metros, presentandose varias alternativas para la ubicación de estos depósitos en la figura No.85 .

5.2.2.2 ANALISIS ECONOMICO.

Según COMSA, subsidiaria de la empresa japonesa KURIMOTO, LTD., el costo aproximado del dragado del embalse del Cerrón Grande utilizando 2 barcazas con igual número de dragas de 24 pulgadas de diámetro, utilizadas durante 5 años, es de 62 millones de Dólares, con un equivalente aproximado de 533.2 millones de Colones. A esto se tendrá que agregar el costo de la construcción del o los depósitos que servirán para la depositación del sedimento extraído del reservorio antes mencionado, los cuales incluyen :

- La compra de los terrenos afectados para la construcción del o los depósitos para el sedimento (8 Km²).

- Excavación de 80 millones de m³.

- Desalojo de 80 millones de m³.

Totalizando las anteriores actividades en 2,892 millones de Colones, y si le agregamos a esto el costo del dragado, tenemos que para llevar a la práctica esta alternativa en las condiciones actuales, es necesario invertir un gran total de 3,425.2 millones de colones.

Se debe también tomar en cuenta que al tener en el embalse del Cerrón Grande 80 millones de metros cúbicos más de volumen útil, se contaría con un valor de recuperación de la inversión, el cual puede ser calculado, si sabemos que las turbinas de la referida Central tienen un rendimiento de 7.78 Kw-h/m³. A partir de esto se puede esperar una generación extra de 622.4 millones de Kw-h/año, lo cual tiene un valor actual de 224 millones de Colones recuperables en cinco años. Valor que representa recuperar el 1.3% anual del total de la inversión, quedando éste muy por debajo de la tasa de interés a la que cualquier Institución Financiera otorgaría un préstamo para un proyecto de ésta magnitud, y si a esta situación se le agrega que el embalse recuperará en aproximadamente 5 años el volumen de sedimento desalojado, más la pérdida del 20% del volumen útil del embalse extraído durante la época de

estiaje por efecto del dragado, se llega a la conclusión de que no existe factibilidad económica para un proyecto de esta naturaleza, al menos para el embalse del Cerrón Grande.

5.2.3 MANEJO DE LA CUENCA (REFORESTACION DE AREAS-CRITICAS).

El conocimiento de las características y condiciones actuales, detectadas a través de reconocimientos y estudios parciales del área en los últimos doce años (como El Plan Maestro de los Recursos Hídricos), ha permitido establecer criterios que en buena medida son útiles para expresar la situación actual de los recursos de la Cuenca del embalse del Cerrón Grande.

La simple comparación cartográfica (no cuantificada) e inspecciones de campo, muestran que el ritmo de expansión de la frontera agrícola y la deforestación de las vertientes de las subcuencas, han dado paso a una degradación progresiva del ambiente hidrológico y los suelos en general. Una manifestación objetiva del fenómeno es la continua formación y crecimiento de áreas críticas, caracterizadas en virtud de su topografía y grado de disección, pendientes mayores del 20% sin cobertura vegetal protectora y generalmente sometidas a cultivos limpios estacionales. Actualmente se ha establecido mediante análisis de imágenes LANDSAT, que la

extensión de las áreas críticas dentro de la cuenca llegan a aproximadamente el 70% del área total de la misma, este dato es una evidencia física de la magnitud de deforestación y uso irracional de las tierras marginales, donde predomina el cultivo de subsistencia y la ganadería, donde también la tendencia de esta práctica es creciente. Dentro de los graves problemas que se desprenden de esta situación están:

- Modificación drástica del balance hidrológico de la cuenca, cuyos efectos perjudican fuertemente la estabilidad ambiental e interacción productiva de los recursos naturales.
- Aumento en la magnitud del arrastre de sedimentos hacia el embalse del Cerrón Grande, cuyo volumen ha sido calculado en 117.9 millones de metros cúbicos (en el área controlada por CEL).
- Aumento acelerado del agotamiento de la fertilidad y capacidad productiva de la tierra.

Para el caso particular del reservorio del Cerrón Grande, este panorama y su actual tendencia a empeorar, significa un fuerte riesgo para la producción y generación hidroeléctrica y para el crecimiento económico en la perspectiva del desarrollo agropecuario, puesto que de la riqueza hídrica de la cuenca depende la productividad de sus recursos naturales; en término generales, de acuerdo a las particularidades fisiográficas descritas anteriormente y a

las características edafogenéticas más generalizadas dentro de la cuenca, la capacidad de uso de la tierra, resulta de la interacción suelo-clima-topografía y factores externos, en virtud de lo anterior se ha estimado la siguiente distribución vegetativa:

- Tierras de protección 33%
- Tierras forestales 30%
- Tierras para ganadería 15%
- Tierra para agricultura con limitaciones.. 20%
- Tierra para agricultura sin limitaciones.. 2%

Por otro lado, para dar una idea general del grado de deterioro y la tendencia principal de modificación de la cubierta vegetal, vale la pena mencionar que el 56% del consumo energético de la cuenca proviene del uso de la leña, que es obtenida por medio de la progresiva e indiscriminada tala de árboles.

Un plan del manejo de la cuenca del embalse del Cerrón Grande, sería un instrumento directriz, ordenado e integrado para el desarrollo óptimo, racional y sostenido de los recursos naturales en ella existentes, en función de las necesidades de los habitantes de esa área. Esto implica esencialmente la forma de aprovechar, proteger y conservar los recursos mediante la producción sostenida y el equilibrio medio-ambiental.

Este plan del manejo de la cuenca, puede tener diferentes énfasis, que va desde un manejo de áreas silvestres, hasta un plan de desarrollo integral, dependiendo del tipo de actividades que se estén desarrollando en ésta. En todo caso este plan deberá estar fundamentado en las siguientes premisas :

a) Usar cada unidad de tierra de la cuenca a su capacidad de uso, es decir que se garantice una producción optima y sostenida (agropecuaria, forestal, hídrica, energética, etc.) de acuerdo con las necesidades sin deteriorar el recurso suelo.

b) Utilizar prácticas culturales, agronómicas y mecánicas en cada unidad de tierra que las necesite, de tal manera que se pueda prevenir la erosión del suelo y obtener un manejo óptimo del sistema hombre-agua-suelo-planta.

c) Proteger las unidades de tierra principalmente rurales, contra las inundaciones y controlar la producción de sedimentos, como consecuencia de esto se tendrá:

- Aumento en los beneficios económicos netos.
- Reducción de los daños por sedimentación.
- Se mejorará la calidad del agua.

d) Desarrollar la explotación óptima y sostenida de los recursos naturales, suelo y vegetación, de lo cual el agua resulta como producto importante y que es necesario proveer, y poner a disposición en cantidad y calidad a la población del área.

De acuerdo con lo anterior los objetivos principales en el manejo de la cuenca son:

-Proteger y preservar los recursos agua-tierra.

-Reducir los daños por erosión, inundaciones y sedimentación en el embalse del Cerrón Grande.

5.2.3.1 ANALISIS TECNICO.

Por todo lo anteriormente expuesto, un plan de manejo integral de la cuenca del embalse del Cerrón Grande, sería ideal para conseguir todos los beneficios enumerados en el apartado anterior, sin embargo para efectos de nuestro estudio trataremos de concentrarnos en la manera más viable y directa para conseguir la disminución de la tasa de sedimentación en el área de drenaje del reservorio, como lo es la reforestación de áreas críticas.

ASPECTOS RELEVANTES DE LA CUENCA DEL EMBALSE

Para realizar el proyecto de reforestación en las áreas críticas del embalse del Cerrón Grande, es necesario conocer los aspectos más relevantes que influyen de una u otra manera en el deterioro de la cuenca del reservorio mencionado.

DEMOGRAFIA DE LA ZONA

En la cuenca del río Lempa existe una población actual aproximada de 4 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento del 3.1% y una densidad poblacional del 380 hab/Km², de los cuales el 56% son habitantes urbanos y el 44% es poblacional rural, esta población rural tiene una densidad de población de 167 hab/km². Constituyendose en una fuerza de trabajo que se utiliza en la agricultura, la industria, el comercio y los servicios.

ECONOMIA DE LA ZONA

La economía de la zona está sustentada por:

- La producción agrícola de granos básicos, café, caña de azúcar y pastos.
- La crianza de ganado vacuno y porcino, y la producción de leche, y huevos.

- La pesca y la avicultura.
- La producción de leña.
- Las zonas industriales ubicadas al sur de la cuenca (áreas de San Salvador), con producción de alimentos, bebidas, textiles, tabaco, calzado, vestuario y otros [18].

Esta zona se caracteriza por tener aproximadamente 300,000 personas con unos 30,000 establecimientos que comercian productos intercambiables al por menor, como comestibles, prendas de vestir, combustibles, lubricantes, joyería y relojería, y al por mayor productos como maquinaria, equipo electrónico y productos químicos. Además posee aproximadamente 6,000 establecimientos que proporcionan servicios de abastecimiento de agua potable, transporte, diversión, restaurante, cafés, hoteles, lavanderías, talleres de reparación, electricidad, comunicaciones, servicios, y una producción de cemento total de 500,000 TM al año .

[18] Landaverde, José H. y Rosales, Renato O., "Diagnóstico de la Cuenca Multinacional del Río Lempa", 1988 .

ECOLOGIA DE LA ZONA.

Ecológicamente el área comprende los pisos climáticos tropical, subtropical y montaña baja; predominando las tierras con gradiente superior al 20%, lo que indica vocación forestal.

Aún cuando en tiempos pasados el área estuvo cubierta de bosques, casi en su totalidad, la intervención humana con fines de agricultura migratoria y/o extracción forestal, ha sido tan intensa que las concentraciones actuales son relativamente pequeñas.

La gran mayoría del área está deforestada o disturbada y sus variaciones van desde terrenos de uso agropecuario hasta áreas abandonadas y deforestadas casi totalmente; sin embargo aún es posible observar bosques regularmente densos aunque un poco distantes entre sí como Montecristo, Las Pilas, etc.

AGROECOLOGIA DE LA ZONA

El aumento en el volumen de la escorrentía en determinada zona es indicativo de que la cubierta vegetal ha sido fuertemente afectada, en el caso de nuestra área en estudio este fenómeno se debe a la tala indiscriminada de los bosques, sustituyendolos por una agricultura de

subsistencia en tierras no aptas (muy inclinadas) sin prácticas conservacionistas, uniéndose a esto un régimen irregular de precipitaciones en la zona; lo anterior tiene un efecto muy importante y significativo al relacionar el volumen de escorrentía con la calidad y cantidad de suelo perdido.

Para tener una idea más clara de la calidad de los suelos agrícolas de un determinado lugar, se presenta la siguiente clasificación por capacidad de uso de la tierra y algunas de sus características :

- Tierras apropiadas para cultivo intensivo.
 - Clase I, sin métodos especiales de manejo.
 - Clase II, Con métodos sencillos de manejo.
 - Clase III, Con métodos intensivos de manejo.

- Tierras apropiadas para cultivos ocasionales o limitados.
 - Clase IV, Con uso limitado y métodos intensivos de manejo.

- Tierras no apropiadas para cultivos de aradura, pero adecuadas para vegetación o cultivos permanentes.
 - Clase V, sin emplear restricciones o métodos especiales de manejo.
 - Clase VI, Con restricciones moderadas.

Clase VII, Con severas restricciones.

Tierras no apropiadas para uso agrícola, pero sí para recreación, protección o vida silvestre.

Clase VIII, No apta para uso agrícola.

En cuanto a la clase de tierras según su capacidad de uso, y su real uso actual dentro de la cuenca del embalse del Cerrón Grande, en los cuadros No.48 y No.49 se dá un detalle de los porcentajes existentes dentro del área analizada, de cada una de ellas.

ZONAS CRITICAS

La zona que se considerará para la aplicación del tratamiento vegetativo dentro del área en estudio, será la delimitada entre los parteaguas del embalse de la Central Guajoyo y el parteaguas del embalse de la Central Cerrón Grande, según puede observarse en la figura No. 86.

Esta zonificación tiene como base la casi nula contribución de sedimentos del área de drenaje de la Central Guajoyo al reservorio del Cerrón Grande, además de estar en mejores condiciones de cobertura vegetal que el área de ésta última; sin embargo para la zonificación específica de las áreas a reforestar se tomarán en cuenta las tasas de pérdida de suelo calculadas para cada una de las subcuencas de los

principales ríos afluentes al embalse del Cerrón Grande, realizadas en el capítulo III del presente trabajo de graduación, según se muestra en el cuadro No.28 .

LOCALIZACION DE ZONAS CRITICAS

Las áreas para el proyecto de reforestación se localizan en las siguientes subcuencas :

- Suquiapa (ver figura No. 87)
- Acelhuate (ver figura No.88)
- Guajoyo (ver figura No. 89)
- Tamulasco (ver figura No. 90)
- Tahuilapa (ver figura No. 91)
- Quezalapa (ver figura No. 92)
- Mojaflares (ver figura No.93)
- Sucio (ver figura No. 94)

La aplicación de la alternativa se hará en un área propuesta de 140,000 hectáreas, lo cual significa reforestar el 40.88 % del área delimitada anteriormente.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROYECTO

a) Período de Ejecución

Se estima que el proyecto se ejecutará en un plazo de 10 años, con un promedio de 14,000 hectáreas

reforestadas por año, dando un total de 140,000 hectáreas reforestadas.

b) Establecimiento.

b.1) Preparación del terreno.

Consiste en limpiar toda el área a reforestar, estimando utilizar 50 hombres/hectárea.

b.2) Trazo y Marqueo.

La plantación será establecida bajo el sistema del tres bolillo, a una distancia entre plantas de 2.5 x 2.5 metros, el trazo se realizará con un nivel "A" de madera, siendo el número de plantas a establecer de 1,600 por hectárea, estimandose para esta labor 6 hombres/hectárea.

b.3) Elaboración de estacas.

Estas se utilizarán para marcar el sitio donde irá cada planta.

b.4) Ahoyado

La dimensión de los hoyos será de 30x30x30 cms. estimandose utilizar un promedio de 22 hombres por hectárea.

b.5) Acarreo de las plantas.

Este se realizará desde el lugar donde llegue el vehículo con las plantas hasta el lugar de siembra, se estima realizar esta tarea con un promedio de 10 hombres/hectárea.

b.6) Siembra, fertilización y Aplicación de insecticidas.

Se estima realizar esta actividad con un promedio de 18 hombres/hectárea.

b.7) Limpias.

Esta actividad se realiza para que las plantas se desarrollen sin competencia de malezas, y se estima realizarla con un promedio de 18 hombres por hectárea, efectuándose dos limpiezas.

b.8) Resiembra.

Se estima que el porcentaje de plantas perdidas será de un 10%, por lo tanto los viveros tienen que producir un 10% más.

b.9) Placeado.

Es una semiterraza individual con el objeto de almacenar humedad para la plantación y cortar la velocidad del agua.

b.10) Fertilización.

La primera fertilización se efectúa al momento de la siembra, colocando una onza de fórmula 16-20-00 al fondo del hoyo, también se puede usar materia orgánica, pero los costos se incrementan por el transporte.

b.11) Control Fitosanitario.

Esta es una labor constante de observación para detectar cualquier daño en la plantación, siendo el más frecuente el daño del zompopo.

b.12) Construcción de Brechas Corta Fuego.

Esta es una labor indispensable en toda plantación forestal porque le limita la acción al fuego en caso de un incendio y permite organizar y concentrar acciones en el área problema.

c) Manejo.

El proyecto prácticamente se manejará con fondos prestados por el BID, con este capital, será la CEL la que monitoreará los costos de manejo y protección, los cuales incluyen limpiezas de formación en las especies madereras y mantenimiento de brechas corta fuego y por su puesto el mantenimiento de cercos y la vigilancia necesaria para el éxito del proyecto durante toda su existencia; después de cada raleo se reiniciará el ciclo de cuidado.

d) Cosecha.

Para escoger las especies vegetativas que se utilizarán en la alternativa de la reforestación, se tomó como base la experiencia de los Ingenieros Agrónomos de CEL en el Proyecto de la Rehabilitación de la Subcuenca del Río Las Cañas; sin embargo en lo que se refiere a cosecha, éste Proyecto aún se encuentra en su etapa de desarrollo (3 años), por lo cual todavía no se puede contar con un detalle definitivo, sino que con datos teóricos extraídos de otras experiencias.

El sistema de cosecha para especies energéticas y productoras de leña es el siguiente: se plantará el 100% de las hectáreas y se realizarán aprovechamientos totales en superficies que representan a la plantación a partir del sexto año, continuando en su orden en el doceavo, decimosexto y veinteavo año. Los productos que se pretenden obtener son madera en un 70% , 20% de leña y un 10% de desperdicios.

5.2.3.2 ANALISIS ECONOMICO

Los costos en que se incurrirá para llevar a cabo esta alternativa de solución, se calcularán en base a un módulo de 30 hectáreas, según la experiencia de técnicos de CEL en la Rehabilitación de la Subcuenca del Río Las Cañas, posteriormente se estandarizará para 1 hectárea.

Este procedimiento facilitará el cálculo del costo total de la alternativa, ya que de esta manera se podrá contar con datos más representativos a la hora de generalizar los costos para la totalidad de la extensión a reforestar; posteriormente se analizará la alternativa comparando los costos contra las condiciones financieras para llevarla a cabo, demostrandose aquí la factibilidad económica del proyecto.

COSTOS

I) **INSUMOS.** Este rubro constituye una de las partes medulares del proceso de reforestación, para tener una idea de los insumos a utilizar es necesario conocer las especies que se utilizarán en el proceso y el espaciamiento necesario entre cada una de las plantas, siempre tomando un módulo inicial de 30 hectáreas, las cuales serán reportadas posteriormente para 1 hectárea.

Especies Forestales	Hectáreas/Especie	Espaciamiento
Flor Amarilla	15.00	2.50 mts.
Almendo de Río y		
Maquilishuat	15.00	2.50 mts.

La anterior información indica que se utilizarán aproximadamente 1600 plantas por hectárea reforestada, detallándose en el cuadro No.50 los costos por Insumos (fertilizantes, insecticidas, etc.) y Herramientas utilizadas en una hectárea a reforestar, dando un total de ₡1,431.86 en este rubro.

II) COSTOS DE MANO DE OBRA.

Aquí se calculó el costo de la mano de obra en base a los días/hombre necesarios para realizar las distintas

actividades en el campo, considerandose también el salario básico de un hombre/día, estos costos se detallan en el cuadro No. 51, dando un total de ₡6,236.42 por hectárea.

III) COSTOS POR ADMINISTRACION DE CAMPO.

En este rubro se incluyen los pagos necesarios a los Caporales y Planilleros, quienes se encargarán de la administración del proyecto en el campo, detallandose en el cuadro No.52 los costos antes mencionados, dando un total de ₡1,041.60 por hectárea.

IV) COSTOS DE TRANSPORTE.

Para este rubro se consideró el costo del transporte de las plantas y los insumos necesarios al lugar de trabajo, el cual se detalla en el cuadro No.53, dando un total de ₡618.00 por hectárea.

V) TOTAL DE COSTOS DIRECTOS.

En el cuadro No.54 se presenta el resumen de los costos directos antes analizados, dando un total de ₡9,327.88 por hectárea reforestada.

VI) COSTOS INDIRECTOS.

En este rubro se consideran los gastos generales en que incurrirán los campesinos propietarios al participar en el proyecto, como un porcentaje de los costos directos, según el cuadro No.55, dando un total de ¢4,194.26 por hectárea.

VII) COSTOS TOTALES.

Este total no es más que la suma de todos los costos en que se incurrirá al reforestar una superficie igual a 1 hectárea de terreno, según se muestra en el cuadro No.56, dando un total general de ¢ 13,522.14 por hectárea.

OTROS COSTOS.

Existen otros costos de la alternativa, que se dan a la hora de realizar las labores de la cosecha de leña y madera (Raleo), éstos se cuantifican en ¢2,000.00 según se puede observar en el cuadro No.57 .

INGRESOS GENERADOS POR LA ALTERNATIVA.

El sistema de cosecha para especies energéticas y productoras de leña es el siguiente: se plantará el 100% de las hectáreas y se realizarán aprovechamientos totales en superficies que representan a la plantación a partir del

sexto año, continuando en su orden en el doceavo, decimosexto y veinteavo. Los productos que se pretenden obtener son madera en un 70% , 20% de leña y un 10% de desperdicios.

De acuerdo a lo anterior, se puede calcular el ingreso que reporta cada uno de los raleos de las especies que se proyecta usar para la reforestación respectiva, así para el aprovechamiento de este tipo de árbol es, según el cuadro No.58, se tiene :

COSECHA	EDAD (AÑOS)	INGRESO (Ha.)
1	6	¢76,800.00
2	12	¢76,800.00
3	16	¢76,800.00
4	20	¢76,800.00

OTROS INGRESOS.

Tambien se obtendrán otros ingresos debido a la protección que la reforestación brindará a la cuenca del embalse del Cerrón Grande, según el cuadro No.59, el área escogida para realizar la implementación de la alternativa tiene una pérdida de suelo igual a 22,053,706.64 Toneladas anuales, ésto considerando que goza de poco o ningún tipo de protección; sin embargo sí se protege y reforesta el área

señalada en este estudio, ésta área solo experimentará una pérdida anual de suelo equivalente a 8,708,469.33 Toneladas, esto significa que la pérdida de suelo a nivel de alternativa de solución se reducirá en un 39.49 % o sea que la cantidad de suelo que ya no se perderá a partir de la reforestación es de 13,345,237.31 Toneladas anuales, equivalentes a 11,121,031.09 M3/anuales.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que un buen porcentaje de este suelo retenido por la cuenca (56.07%) según se indica en el Capítulo IV, no se convertirá en parte del sedimento que anualmente azolva el embalse del Cerrón Grande, y que por el contrario, se convertirá en volumen útil que puede ser generado por la Central. El valor económico de este volumen útil se puede calcular, si sabemos que con un metro cúbico de agua se generan 7.78 Kw/h, y conociendo el valor comercial de éstos se tiene que anualmente CEL obtiene un beneficio de \$24,256,336.69 .

La información referente a la pérdida de suelo antes de la reforestación y después de la misma, fué calculada en base al método aplicado para la MUSLE en el Capítulo III del presente Trabajo de Graduación, tomando como base el porcentaje que de su propia área se le asignaría a cada una de las subcuencas como parte del proyecto de reforestación, modificandose, por supuesto, algunos de los parámetros más sensibles a la protección del suelo, tales como el Factor de

Cobertura Vegetal "C" y el Número de Curva "CN" (ver cuadros del No. 60 al No. 67, anexandose a cada uno de ellos, el respectivo cálculo de pérdida de suelo).

5.2.3.3 ANALISIS FINANCIERO

Para el análisis financiero se tomará en cuenta el rendimiento que de el proyecto se obtiene sobre el capital que se aporta, aquí se pretende demostrar la viabilidad del mismo, desde el punto de vista que puede tener un empresario a la hora de invertir en una determinada obra, para esto es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Se deben utilizar los precios de mercado, incluidos impuestos y subsidios.

- Se deben de considerar los impuestos como costos y los subsidios como ingresos.

- Los intereses pagados al capital se deben considerar como costos y el reenbolso de capital tomado a préstamo se deduce, antes de llegar a la corriente de beneficio.

- Es preciso tener en cuenta el capital exterior tomado a préstamo por la entidad que emprende el proyecto.

Para llevar a cabo el análisis financiero del proyecto se supondrá un préstamo para cubrir la inversión, en este caso, en su totalidad.

Las condiciones de crédito serán las que maneja actualmente el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), las cuales son las siguientes:

- Monto a financiar : En su totalidad
- Interés : 8% anual de interés simple
- Amortización : Cuotas iguales en un plazo máximo de 30 años.
- En el primer año solo se pagarán intereses sin amortización al capital.

En el Cuadro No.68 se plasman las anteriores condiciones en términos económicos, mostrando además los indicadores económicos más usados en evaluaciones financieras como lo son el Valor Actual Neto (VAN), La Tasa interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio-Costo (B/C).

Los análisis económico y financiero, fueron basados en un plan de Producciones forestales, tal como se indica en el cuadro No.69.

CAPITULO VI

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en este Trabajo de Graduación, se puede concluir que la cuenca del embalse del Cerrón Grande se caracteriza por una remoción casi completa de su cobertura vegetal, esto lo demuestra el alto índice de pérdida de suelo calculado en el Capítulo III, el cual es casi cuatro veces más alto que el estandar de tolerancia establecido por autoridades en la materia de conservación de suelos. Esto implica que en época seca este fenómeno provoca escasez de agua, pues no hay un flujo constante del vital líquido, ya que la poca que retienen los ríos y el embalse es mínima a causa de la deforestación.

En cuanto a la sedimentación en el embalse del Cerrón Grande, se puede concluir que actualmente no existe un control adecuado de este fenómeno de parte de la Institución propietaria de la Central Hidroeléctrica y su reservorio, ya que actualmente solo controla un aproximado del 34.5 % del área total del embalse, dejandose por fuera un importante 65.5 %, al cual solamente se le pueden aplicar, como en nuestro caso, hipótesis que traten de explicar y cuantificar

en una forma teórica el fenómeno de la sedimentación en el reservorio antes mencionado. Para el área controlada por CEL se determinó un volumen de sedimento depositado equivalente a 117.9 millones de metros cúbicos; sin embargo bajo la hipótesis de un comportamiento del 75% del resto del embalse, se determinó que el volumen total acumulado (teórico) en el embalse es de 283.2 millones de metros cúbicos.

Las pérdidas de diversos tipos que genera la sedimentación del embalse del Cerrón grande, son sumamente cuantiosas. Estas fueron analizadas a lo largo de este Trabajo de Graduación, mostrando que sus consecuencias rozan lo catastrófico, desde el nivel económico por la pérdida de la capacidad de generación, hasta el drástico acortamiento en la vida útil del reservorio (aproximadamente un 20%), determinandose que ésta actualmente se calcula en 80 años a partir de la puesta en marcha de la Central Hidroeléctrica en el año de 1976, y no 100 años tal como lo afirman sus diseñadores. *efecto*

En relación a las alternativas de solución consideradas en este Trabajo, según el resumen mostrado en el cuadro N° 70, se puede concluir que la menos factible en términos tanto económicos como técnicos, es el Dragado del embalse, ya que su elevado costo de ejecución, su reducido y poco rentable costo de recuperación, y la gran dificultad para

disponer en una forma adecuada del enorme volumen de sedimento que se extraería del embalse, la convierten en una alternativa poco recomendable y muy alejada de suplir las necesidades que de ella se esperan. En cuanto a la alternativa de Control de Torrentes en base a Diques del tipo gavionado, se puede decir que ocupa un segundo lugar en los campos tanto técnico, como económico, debido en primer lugar a que no soluciona en una forma eficiente el problema de la sedimentación del embalse del cerrón Grande, y en segunda instancia a que sus indicadores económicos no reflejan una rentabilidad que pueda hacer de esta alternativa una solución 100% aceptable; salvo por su alto valor de la relación Beneficio-Costo. De la alternativa de Manejo de la Cuenca (Refórestación de Areas Críticas) se puede concluir que es la más viable tanto técnica como económicamente, ya que en primera instancia solucionaría parte del problema de la deforestación de la cuenca del embalse del Cerrón Grande y por ende detendría de una forma efectiva, tal como se ha demostrado, el flujo de sedimentos que año tras año azolvan el reservorio antes mencionado, a bien de constituirse en la forma más económica y rentable para llevar la solución al fenómeno de la sedimentación en el embalse, principalmente por sus aceptables índices económicos, los cuales señalan una inversión inicial de ¢ 1,893,099,600.00, con un valor actual neto de ¢ 7,772,131,808.28, una tasa interna de retorno de 11.66 % y

una relación Beneficio-Costo de 10.88 tal como se muestra en el cuadro N° 68.

6.2 RECOMENDACIONES

Para poder cuantificar en una forma más precisa la cantidad de sedimento depositado en el fondo del embalse del Cerrón Grande, a través del método de la batimetría, sería recomendable que la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), estableciera secciones transversales de control a todo lo largo del reservorio, actualizara su equipo de sondeo y capacitara a su personal por medio de pasantías en países cuya experiencia en sedimentología sea superior a la nuestra.

Para darle una solución factible al problema de la sedimentación en el embalse del Cerrón Grande, se recomienda la aplicación de la alternativa de Manejo de la Cuenca (Reforestación de Areas Críticas), ésta solución aparte de ser económicamente rentable, significaría la medida más urgente y necesaria para reducir la erosión y preservar el recurso suelo en un área tan vital y estratégica como lo es la cuenca del embalse del Cerrón Grande; además se debería de pensar en el establecimiento de programas de educación ambiental en todos los niveles educativos, a fin de desarrollar conocimientos y actitudes de protección hacia

nuestros ya escasos recursos naturales, teniendo en cuenta que los principales problemas económicos de nuestro país derivan en gran medida del mal uso y sobre explotación de los Recursos Naturales.

Para la implementación de la alternativa de la reforestación se recomienda realizarla por etapas, tal como se plantea en el cuadro N° 69, según el plan de producciones forestales, de esta manera los ingresos de los primeros años servirán de autofinanciamiento del proyecto en los últimos años de su implementación.

CAPITULO VII.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Osorio Gómez, Alvarino, " El Proyecto Cerrón Grande y su Ejecución ", Tercer Congreso Nacional de Ingeniería, 1980.
- [2] CIDIAT, " Hidráulica Fluvial y Transporte de Sedimentos", IX Curso Regional Itinerante (CRICA - 88).
- [3] GOES - PNUD, " Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos - 1981.", Recursos y Demandas Potenciales en la Región "A", Cuenca Alta, Media y Baja, Volumen N°1 y N°2, Documento Básico No.12 .
- [4] Centro de Meteorología e Hidrología, Dirección General de Recursos Naturales - M. A. G. "Almanaque Salvadoreño - 1993".
- [5] Aparicio Mijares, Francisco Javier. "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Editorial Limusa - 1989.

- [6] Chevez, Diogenes de Jesús, Tesis " Generación de un Modelo Paramétrico para el Cálculo de Crecidas de Pequeñas Cuencas". UES - 1988.
- [7] Banco de Fomento Agropecuario (B.F.A.), Publicaciones. Año 1993.
- [8] Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica. "Sedimentation in the Rio Lempa Watershed". 1993.
- [9] Einstein, Albert H., "Sedimentación en Ríos, Parte II ", Compendio de Tecnología de Recursos del Agua, Magraw-Hill Book Company.
- [10] M. J. Kirkby & R.P.C. Morgan, "Erosión de Suelos", Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 1980.
- [11] Harza Engeneering Co., " Supplemental Report-B, CEL Expansion 1977 - 1985", Dic. - 1984.
- [12] Arteaga, Orlandino, "El Problema de los Sedimentos en la Planificación y Diseño de Presas de Almacenamiento ", CRICA- 1994.
- [13] Basso, Eduardo, " Proyecto Hidrometeorológico de Centro América ", Informe N°4, 1977.

- [14]Harza Engeneering Co., " Estudio de Factibilidad Proyecto Hidroeléctrico Cerrón Grande ", 1972.
- [15]Aguilar Molina, Carlos Alberto, " La Conservación de Suelos, una Versión Integral", Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.), Enero 1978.
- [16]Rivas, Jorge Adalberto, " Cálculo y Diseño de Dique o Muro Torrencial Gavionado en el Río Cauta", Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.), Enero 1987.
- [17]M.A.G, " Censo Agropecuario - 1983 ", Enero 1984.
- [18]Landaverde, José H. y Rosales, Renato O., "Diagnóstico de la Cuenca Multinacional del Río Lempa ", 1988.

R E S U M E N

El fenómeno de la erosión remueve las partículas del suelo de la superficie terrestre, las cuales son transportadas aguas abajo por los riachuelos y ríos, hasta ser depositados en gran parte, en los grandes cuerpos de agua. El grado de remoción y deposición del material depende de las características geológicas del área, de la intensidad de las lluvias, de la pendiente de los ríos, de la vegetación y uso del suelo, etc.

La deposición de sedimentos puede producir nuevas tierras (deltas) o mejorar ciertas otras, o bien producir serios daños, como en campos de cultivo, canales y obras tan importantes como los embalses de las centrales hidroeléctricas; tal es el caso de las presas generadoras de energía eléctrica, ubicadas a lo largo del cauce del Río Lempa, el río más importante de nuestro país.

El potencial energético del Río Lempa ha sido explotado desde el año de 1954, fecha en que entró en funcionamiento la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, con una potencia instalada de 30 MW, ampliándose posteriormente a 82 MW. Actualmente existen 3 proyectos hidroeléctricos construidos sobre el cauce del río Lempa, los que en orden cronológico son : 5 de Noviembre (1954), Cerrón Grande (1977) y 15 de Septiembre (San Lorenzo 1988), de los cuales el de mayor importancia por tener un embalse de almacenamiento

(regulador), es el del Cerrón Grande. Este proyecto Hidroeléctrico fue puesto en marcha hace 17 años, tiempo durante el cual, el embalse mencionado, ha experimentado grandes incrementos en los niveles de sedimentos, los cuales pueden ser apreciados a simple vista en las riberas, tanto del embalse como de las desembocaduras de los ríos afluentes a éste. El problema de la sedimentación en los embalses de las Centrales Hidroeléctricas, es quizás uno de los factores más importantes que determinan la vida útil de estos proyectos, ya que a mayor volumen acumulado de sedimentos, menor es el volumen útil que le queda al embalse y por ende la capacidad de generación de la presa disminuye considerablemente, incurriéndose de esta manera en pérdidas económicas, que afectan directamente la economía de cualquier país.

Todo a lo anterior fué base para la realización del presente Trabajo de Graduación, tomándose como objetivos principales, llegar a un conocimiento profundo de la problemática de la sedimentación de los embalse, principalmente el del Cerrón Grande, y a una propuesta de solución que pueda generar beneficios tangibles de corto a mediano plazo. De esta manera y concientes de las limitaciones inherentes al problema, se procedió a una recopilación y análisis de las características físicas e hidrológicas de la cuenca del embalse del Cerrón Grande, encontrándose que esta área posee parámetros que favorecen

la pérdida del suelo : topografía sumamente quebrada (pendientes mayores de 20%), régimen de lluvias muy irregulares, vientos fuertes en época seca, etc.

Posteriormente se cuantifica la pérdida de suelo del área en estudio, tomando como base las características enumeradas anteriormente y auxiliándose de una herramienta de mucha actualidad en países desarrollados, la Ecuación Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE) ; la cual determina por peso (Toneladas) la remoción teórica del suelo debido a una lluvia de diseño que anualmente sucede en esa zona 89 veces, según el Anuario Hidrológico 1993 del MAG, dando como resultado la pérdida de 37.9 millones de Toneladas de suelo por año, en el área de la cuenca del embalse.

En este Trabajo también se cuantificó la cantidad de sedimento depositado en el fondo del reservorio del cerrón Grande, a través de dos (2) métodos : método batimétrico y método estadístico. El primero se basó en la comparación de los perfiles batimétricos iniciales (1979) contra los perfiles batimétricos más actuales (1992), dando como resultado para este método un total de 283.15 millones de metros cúbicos, lo cual arroja un promedio de 17.7 millones de metros cúbicos anuales de sedimento. El segundo se basó en la correlación de datos de las estaciones hidrométricas Poza del Silencio y Paso del Oso, con el criterio de que la estación Poza del Silencio se encontraba aproximadamente en

el sitio de la Presa del Cerrón Grande, y que el sedimento que estaría en tránsito por este sitio quedó atrapado por la estructura de la Presa, dando como resultado un total de 221.10 millones de metros cúbicos, lo cual arroja un promedio de 13.81 millones de metros cúbicos anuales de sedimento.

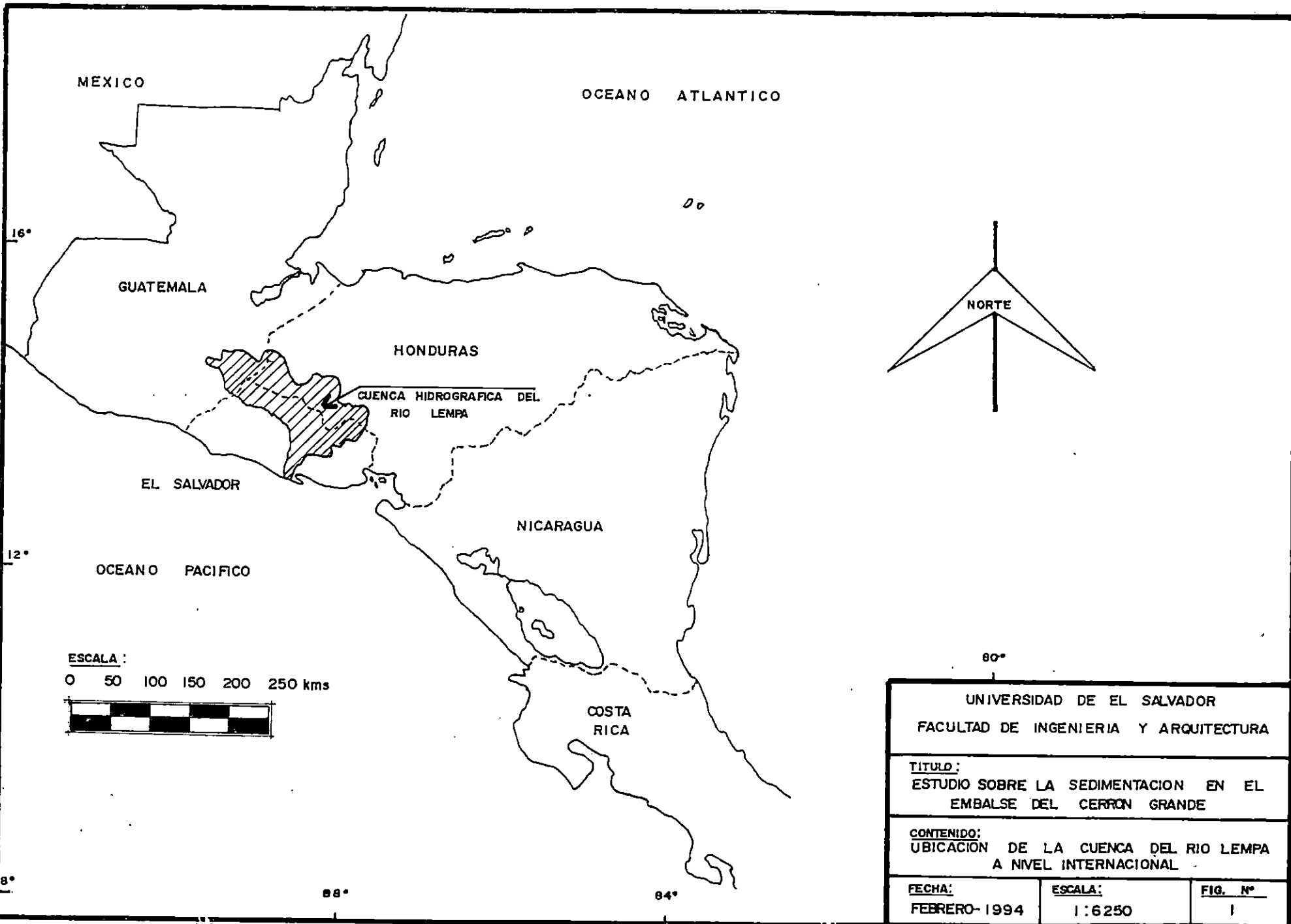
Posteriormente y en base a los resultados anteriores, se plantearon diferentes alternativas de solución : Dragado del Embalse, Control de Torrentes y Escorrentía Superficial (Diques), y Manejo de la Cuenca (Reforestación de Areas Críticas), las cuales fueron objeto de análisis tanto técnicos, económicos y financieros. De dichos análisis resultó factible la alternativa de Manejo de la Cuenca (Reforestación de Areas Críticas), principalmente por sus excelentes índices económicos : Costo Inicial de la Inversión de 1,893.10 millones de colones, Valor Actual Neto (VAN) de 7,772.13 millones de colones, Tasa Interna de Retorno (TIR) de 11.66 %, y una Relación Beneficio-Costo de 10.88 .

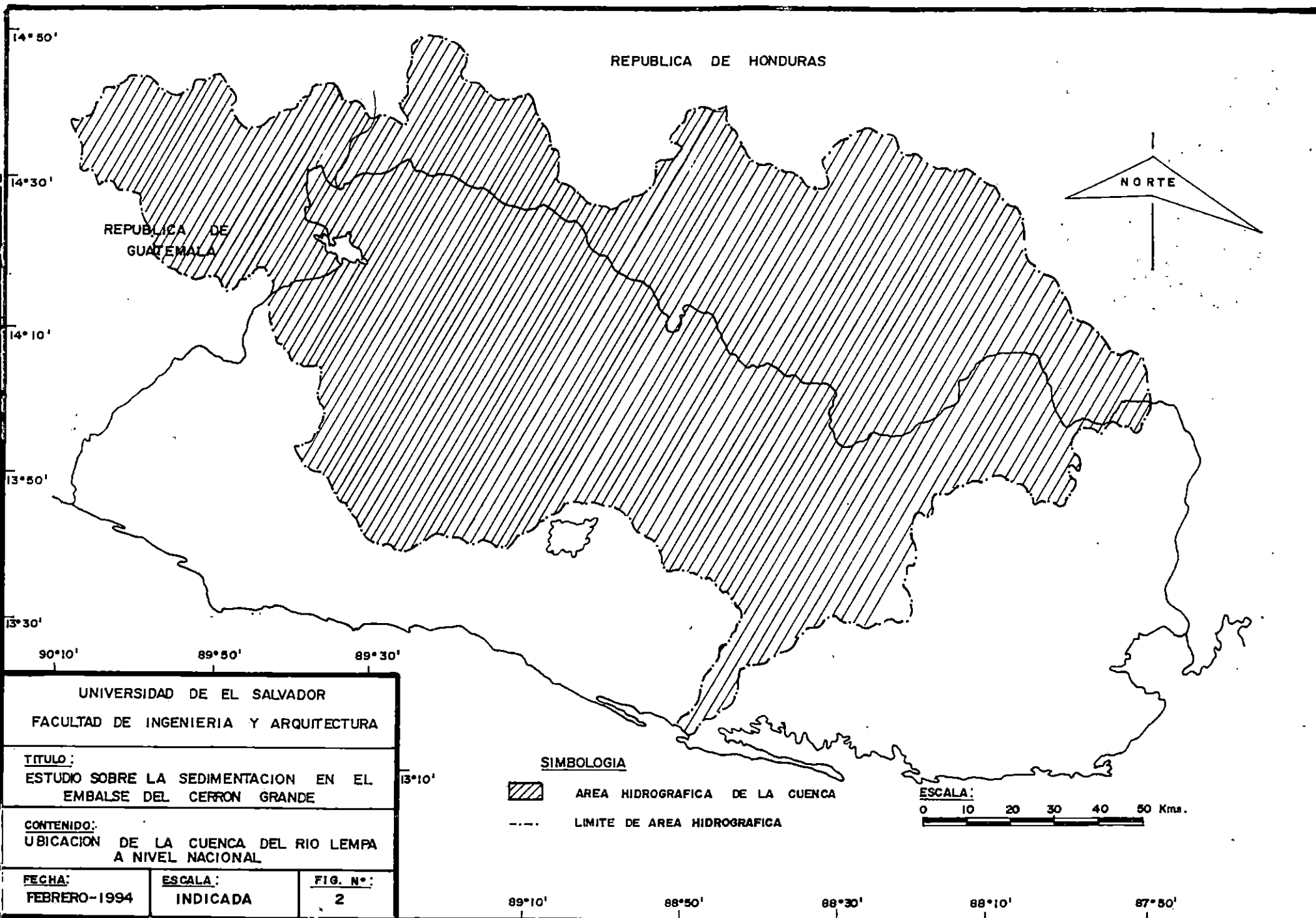
Finalmente en el trabajo se recomienda un mejor control control de la sedimentación en el embalse a través de la implementación de secciones de control a lo largo de todo el reservorio; también se recomienda la ejecución de un Plan de Reforestación de áreas críticas, el cual vendrá a resolver

en gran medida el problema de la sedimentación en el embalse del Cerrón Grande, en un corto a mediano plazo.

A N E X O S

F I G U R A S





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO

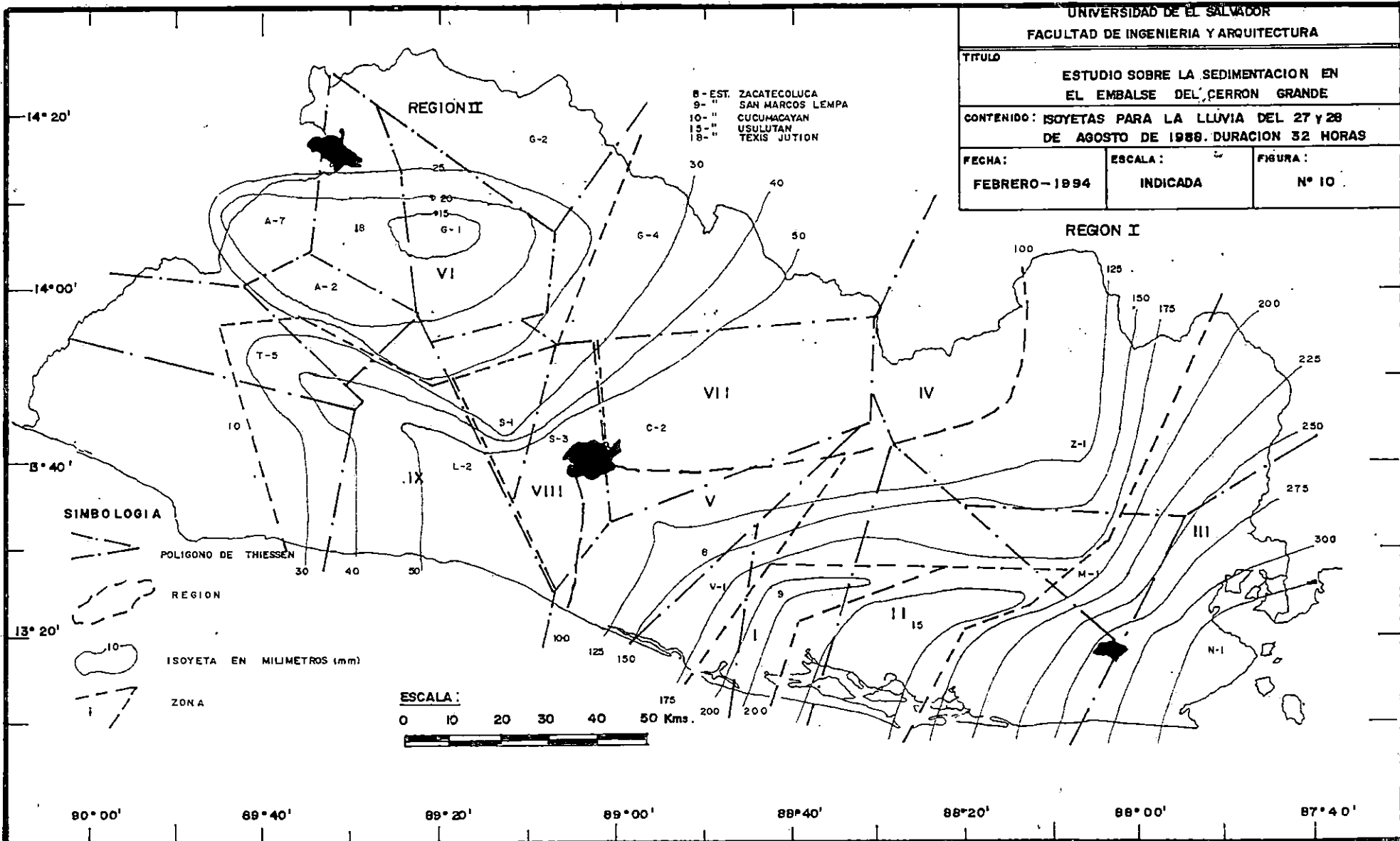
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN
EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

CONTENIDO: ISOYETAS PARA LA LLUVIA DEL 27 Y 28
DE AGOSTO DE 1988. DURACION 32 HORAS

FECHA:
FEBRERO-1994

ESCALA:
INDICADA

FIGURA:
N° 10



AREA (Km²)

CURVA-AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION-DURACION
TEMPORAL DEL 25-31 DE AGOSTO DE 1988

REGION I
AGOSTO

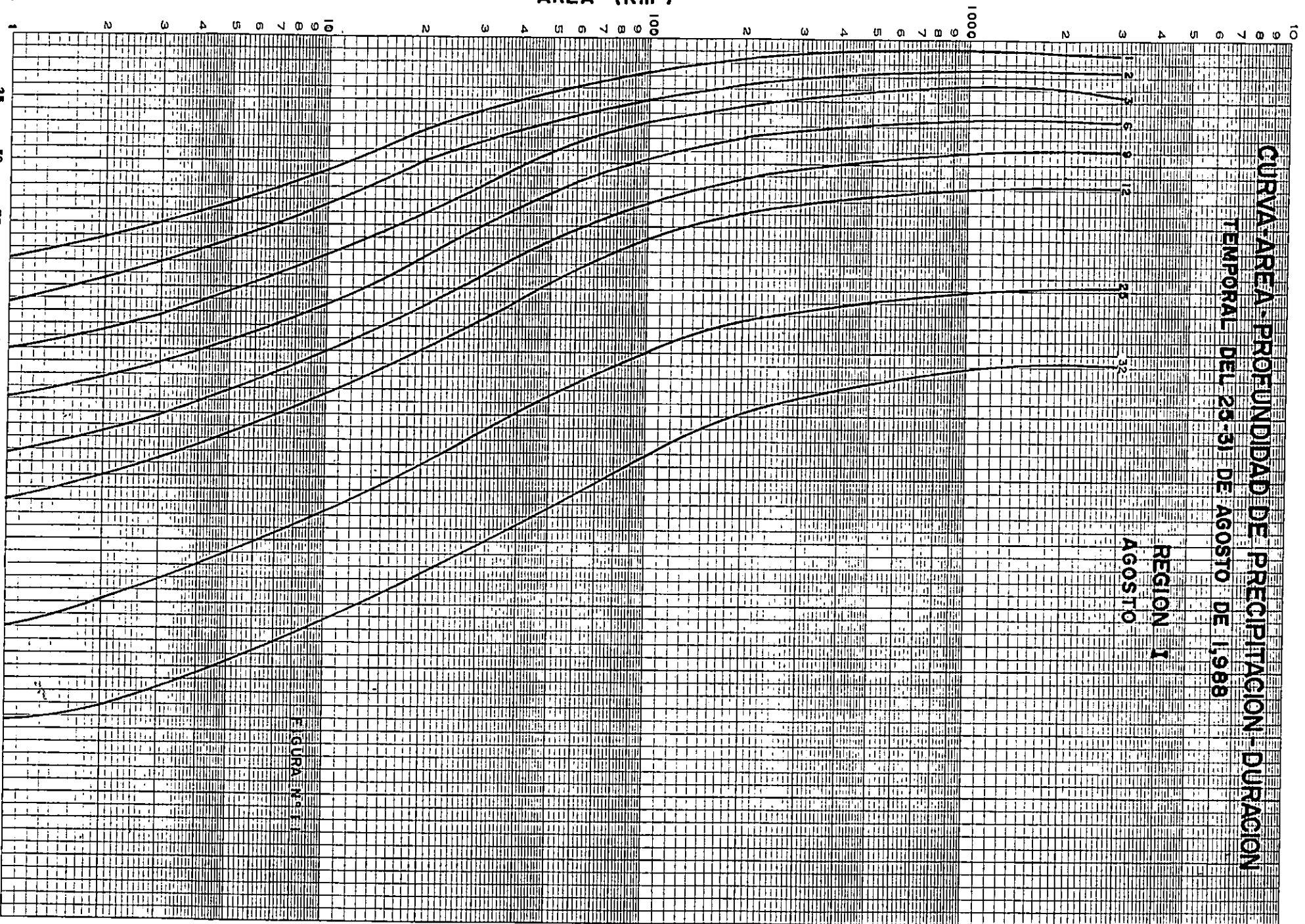
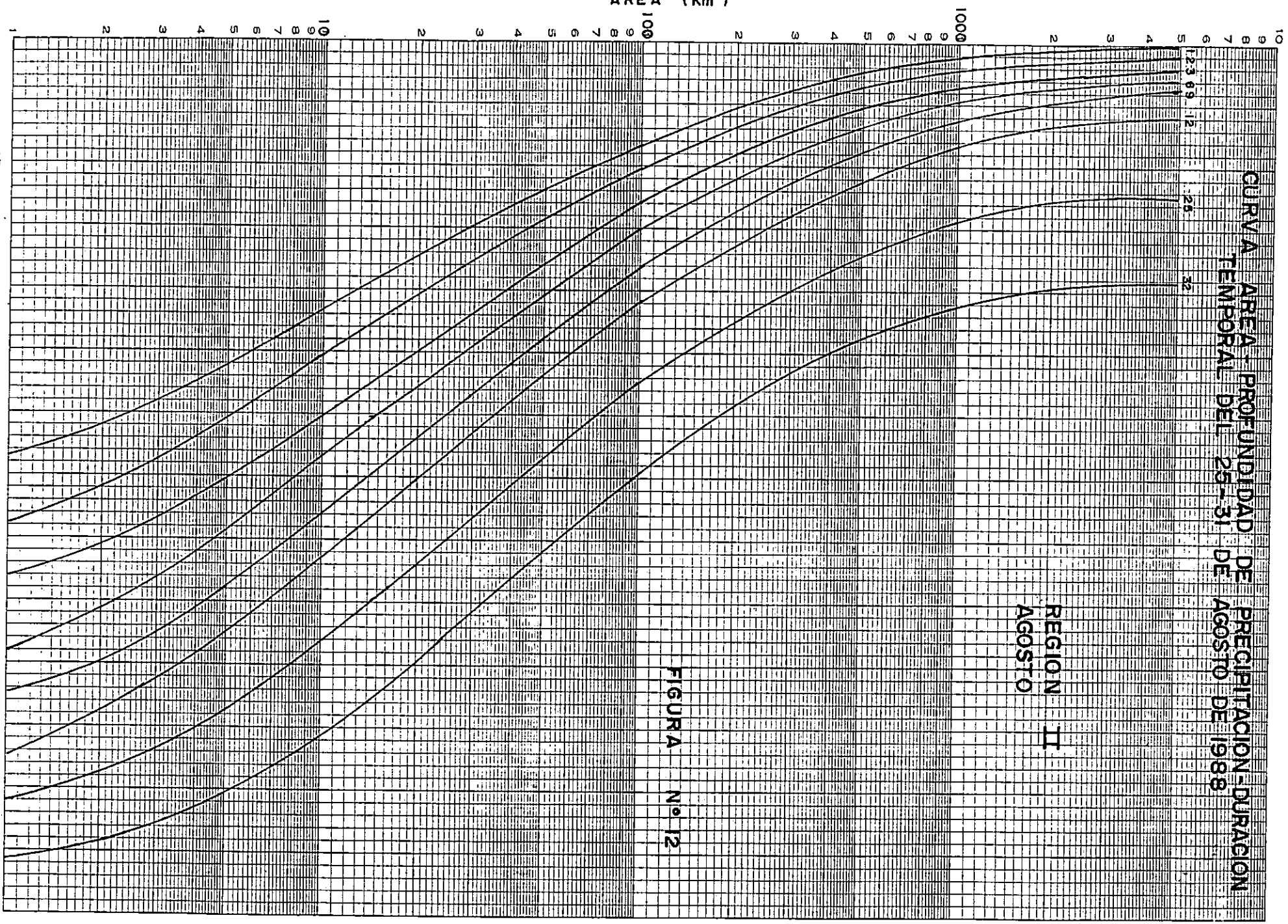


FIGURA N° 1

AREA (Km²)



CURVA DE PRECIPITACION-DURACION
AREA PROFUNDIDAD DE
TEMPORAL DEL 26-31 DE AGOSTO DE 1988

REGION II
AGOSTO

FIGURA No 12

AREA (Km²)

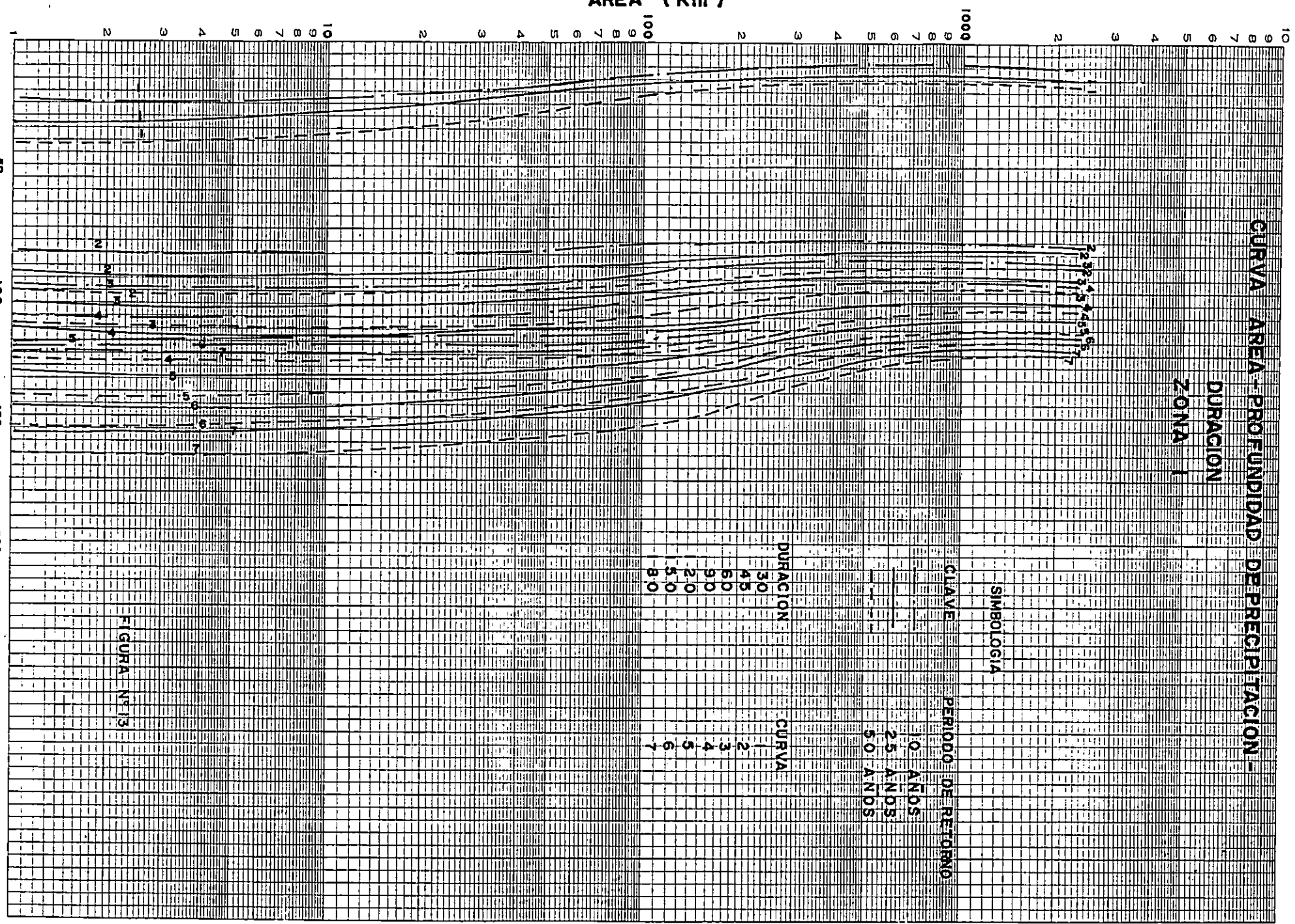


FIGURA Nº 13

AREA (Km²)

CURVA AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION-DURACION
 ZONA II

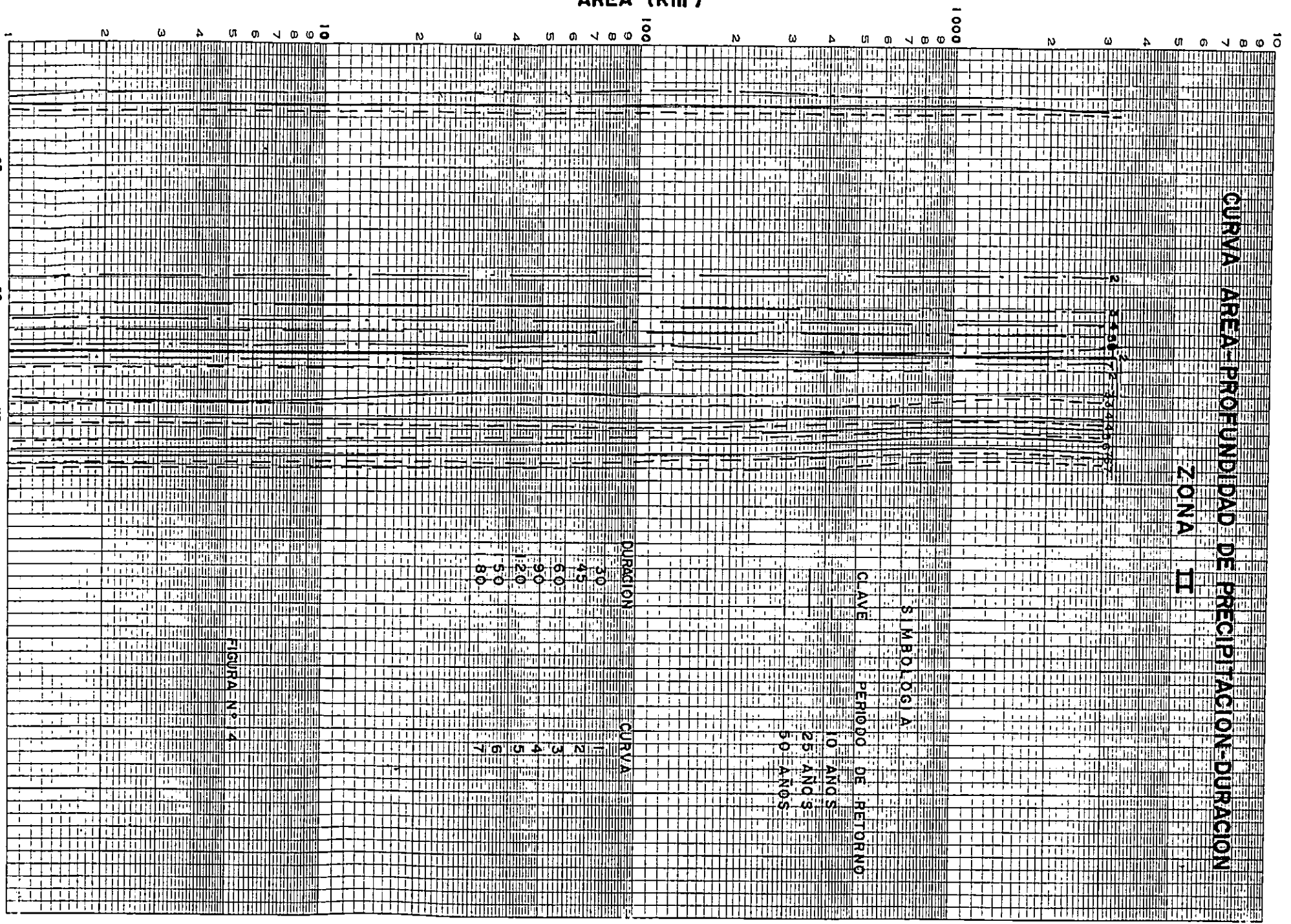


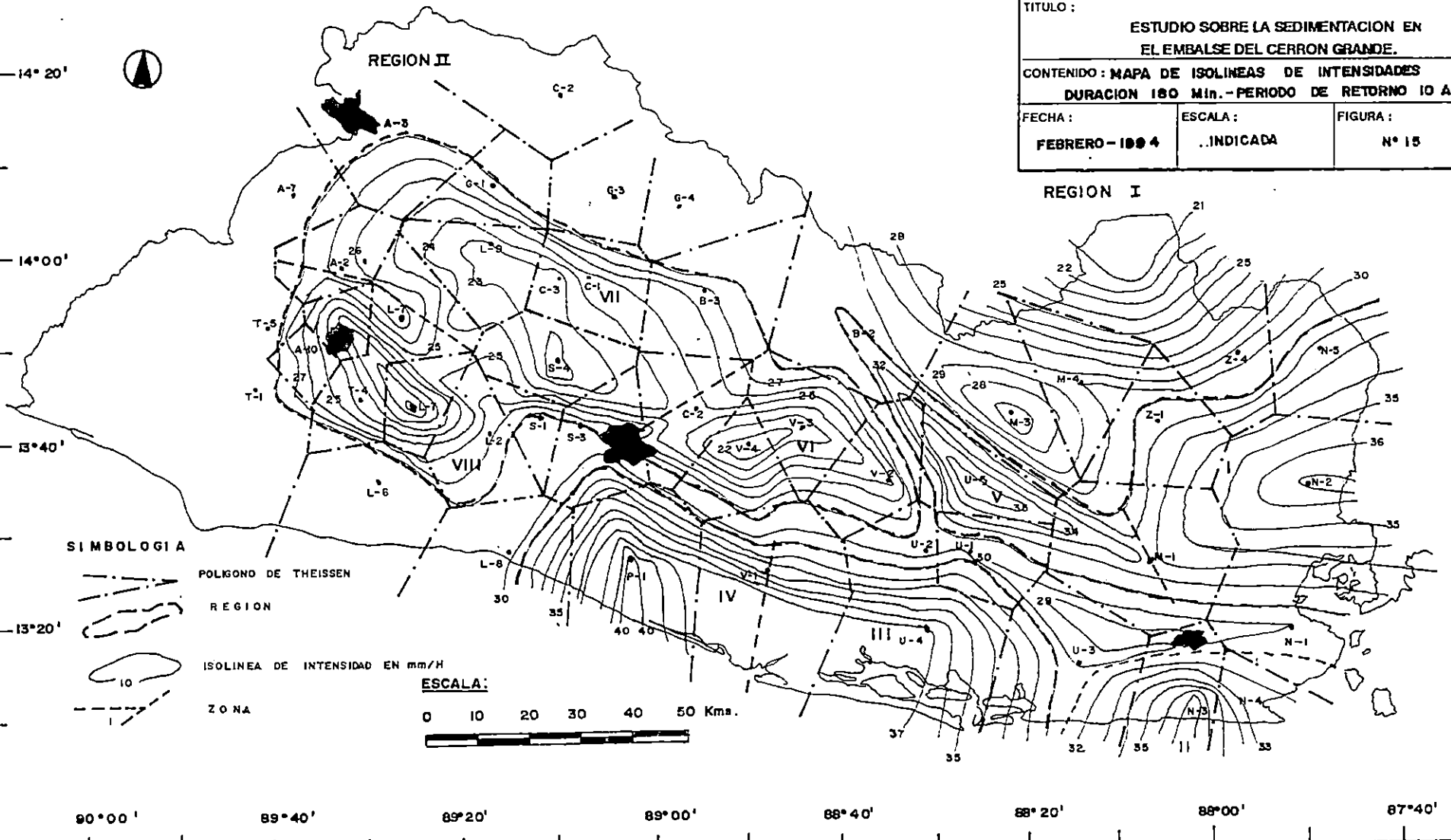
FIGURA N.º 4

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA





TITULO :
**ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN
 EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.**

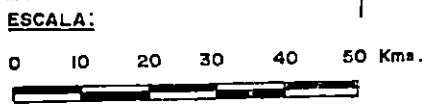
CONTENIDO : MAPA DE ISOLINEAS DE INTENSIDADES
 DURACION 180 Min. - PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS

FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO - 1984	INDICADA	Nº 15



SIMBOLOGIA

-  POLIGONO DE THEISSEN
-  REGION
-  ISOLINEA DE INTENSIDAD EN mm/H
-  ZONA



90° 00' 89° 40' 89° 20' 89° 00' 88° 40' 88° 20' 88° 00' 87° 40'

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN
 EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO : MAPA DE ISOLINEAS DE INTENSIDADES
 DURACION 180 min - PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS

FECHA :

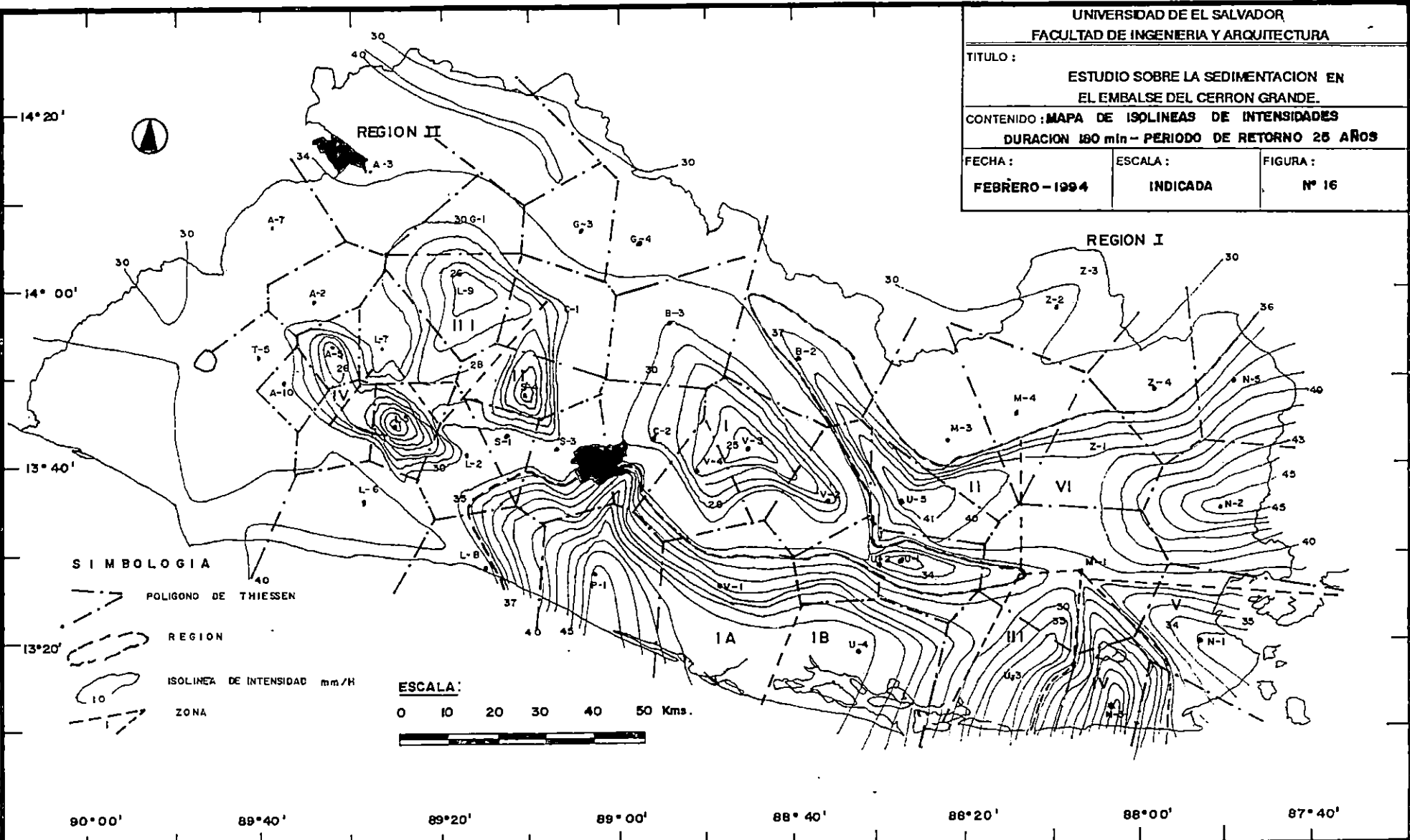
FEBRERO - 1994

ESCALA :

INDICADA

FIGURA :

Nº 16

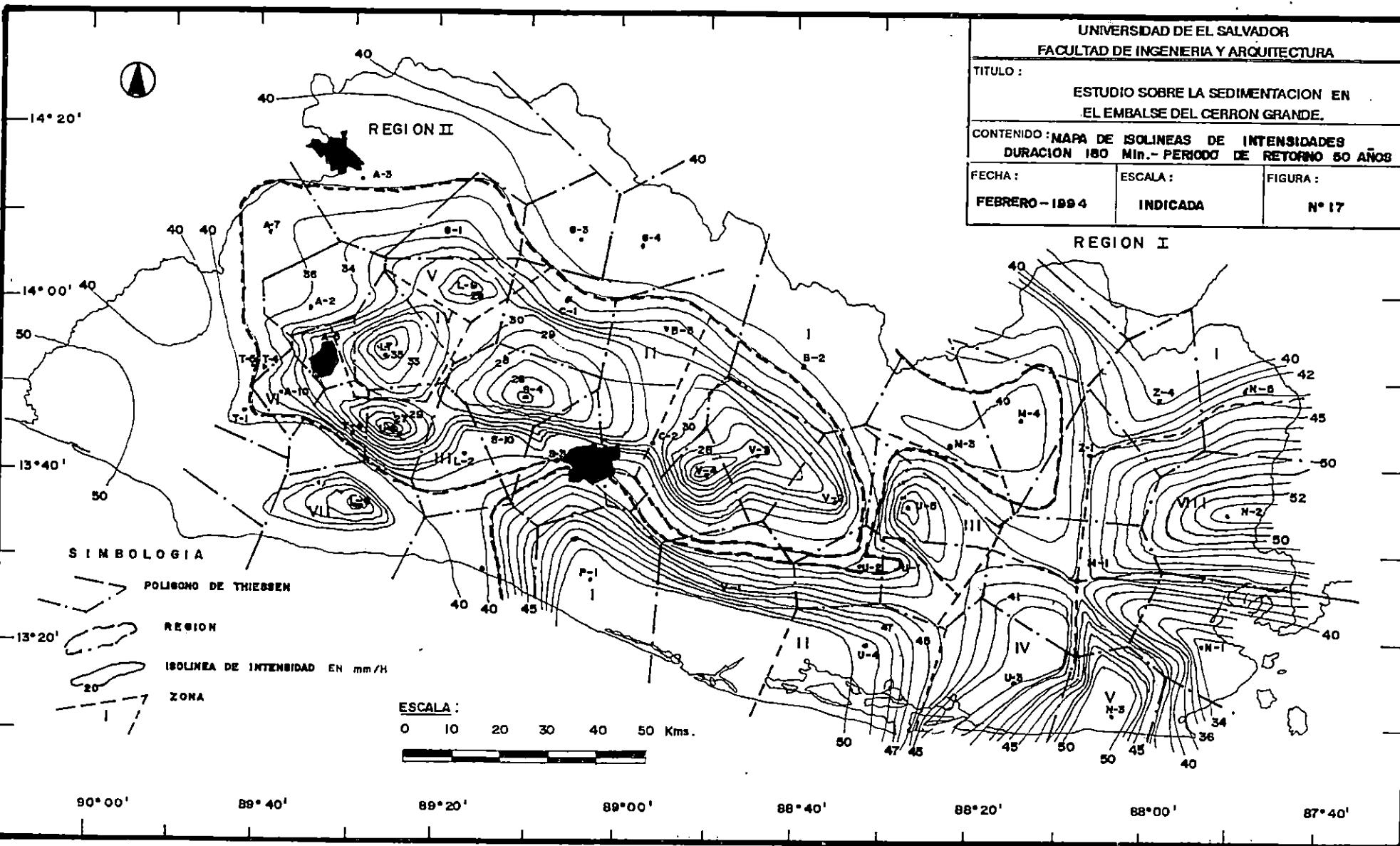


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
 ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN
 EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO : MAPA DE ISOLINEAS DE INTENSIDADES
 DURACION 180 Min.- PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO - 1994	INDICADA	N° 17



SIMBOLOGIA

POLIGONO DE THIESSEN

REGION

ISOLINEA DE INTENSIDAD EN mm/h

ZONA

ESCALA :

0 10 20 30 40 50 Kms.



90° 00' 89° 40' 89° 20' 89° 00' 88° 40' 88° 20' 88° 00' 87° 40'

ESTACION LAS PILAS (G-5)

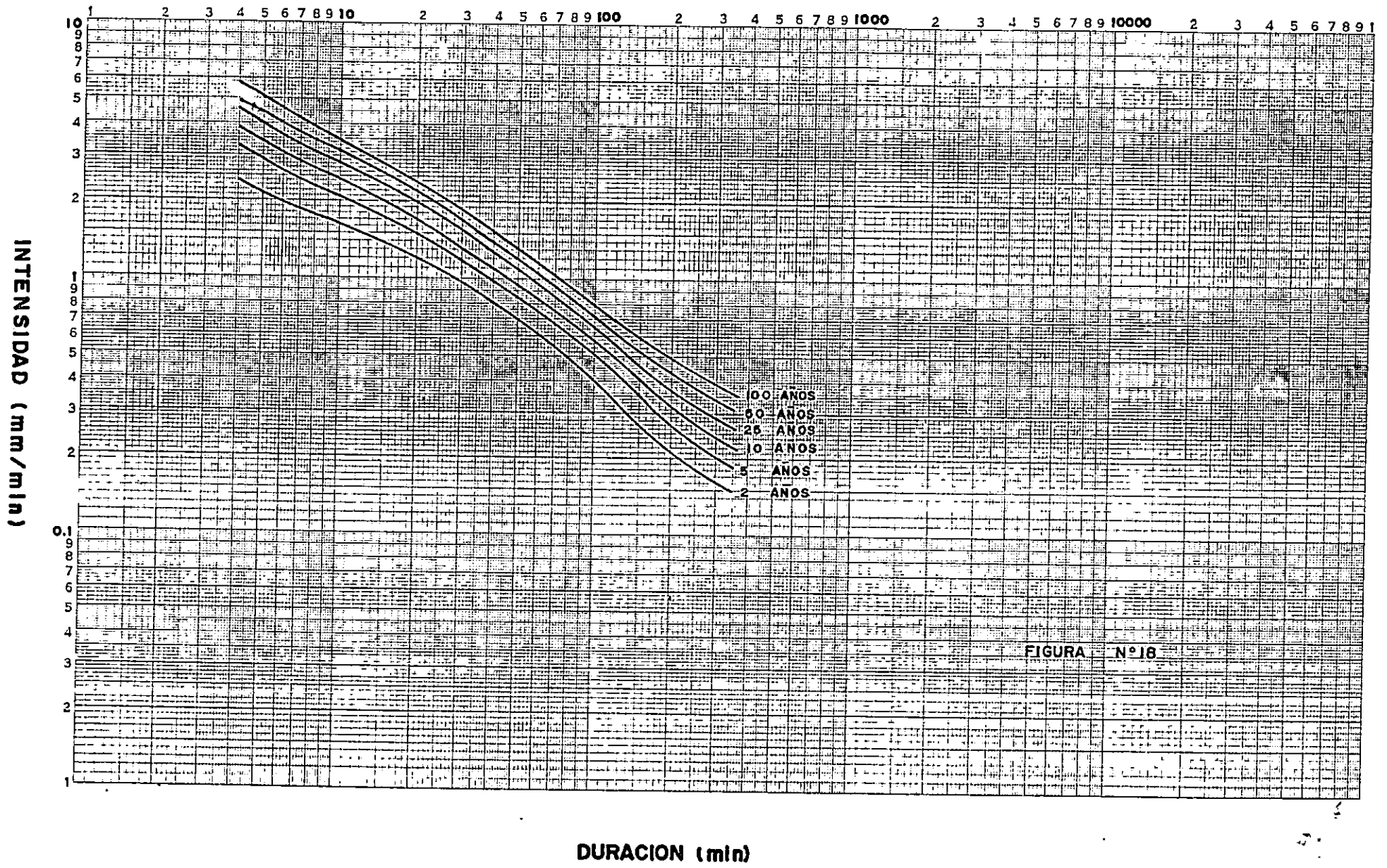
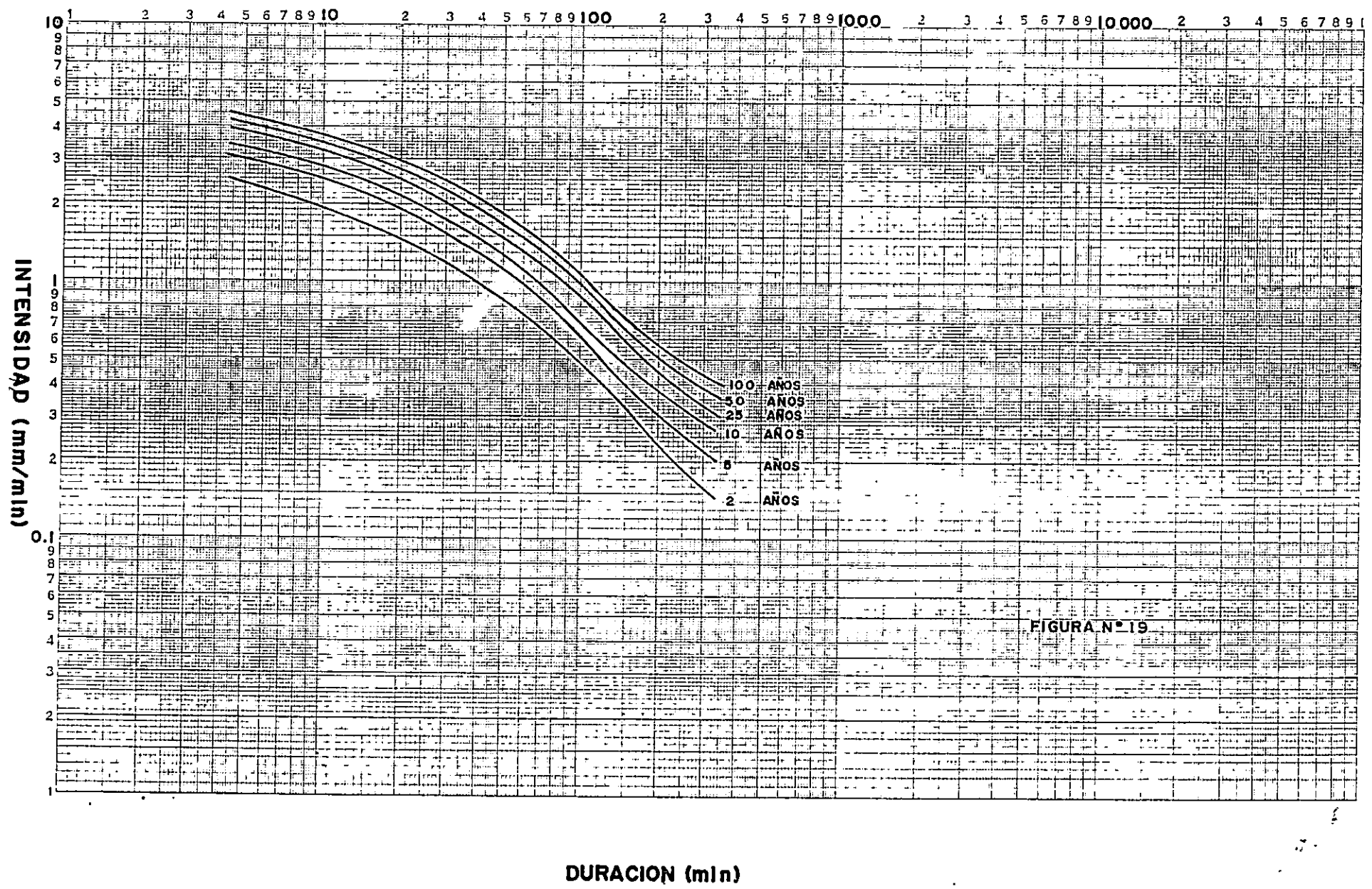


FIGURA N°18

ESTACION SANTA TECLA (L-8)



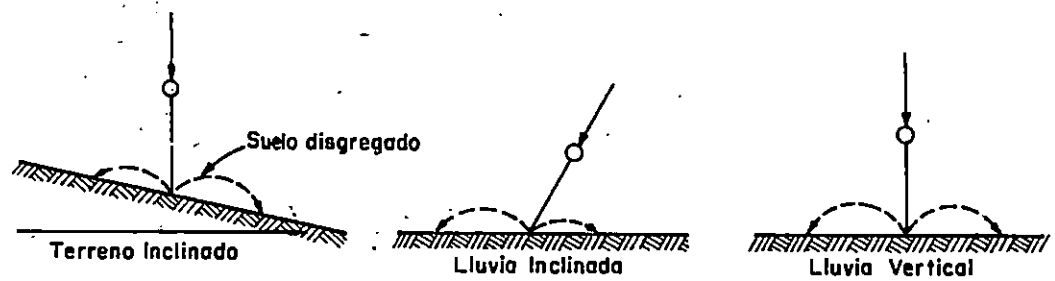


Figura No.23 DIFERENTES DISGREGACIONES DE SUELO CAUSADOS POR GOTAS DE AGUA.

FUENTE: KOHNKE Y BERTRAND, 1980.

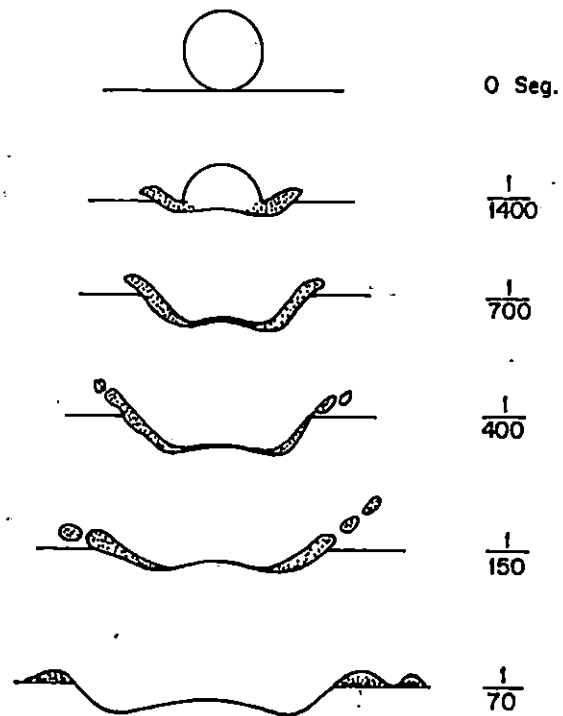


Figura No. 25 DISTORSION DE UNA GOTA DE AGUA AL IMPACTAR SOBRE SUELO HUMEDO.

FUENTE: MIHARA, 1952.

Fuente: "EROSION DE SUELOS", M.J. Kirkby & R.P.C. Morgan, Editorial John Wiley & Sons, Ltd., 1980

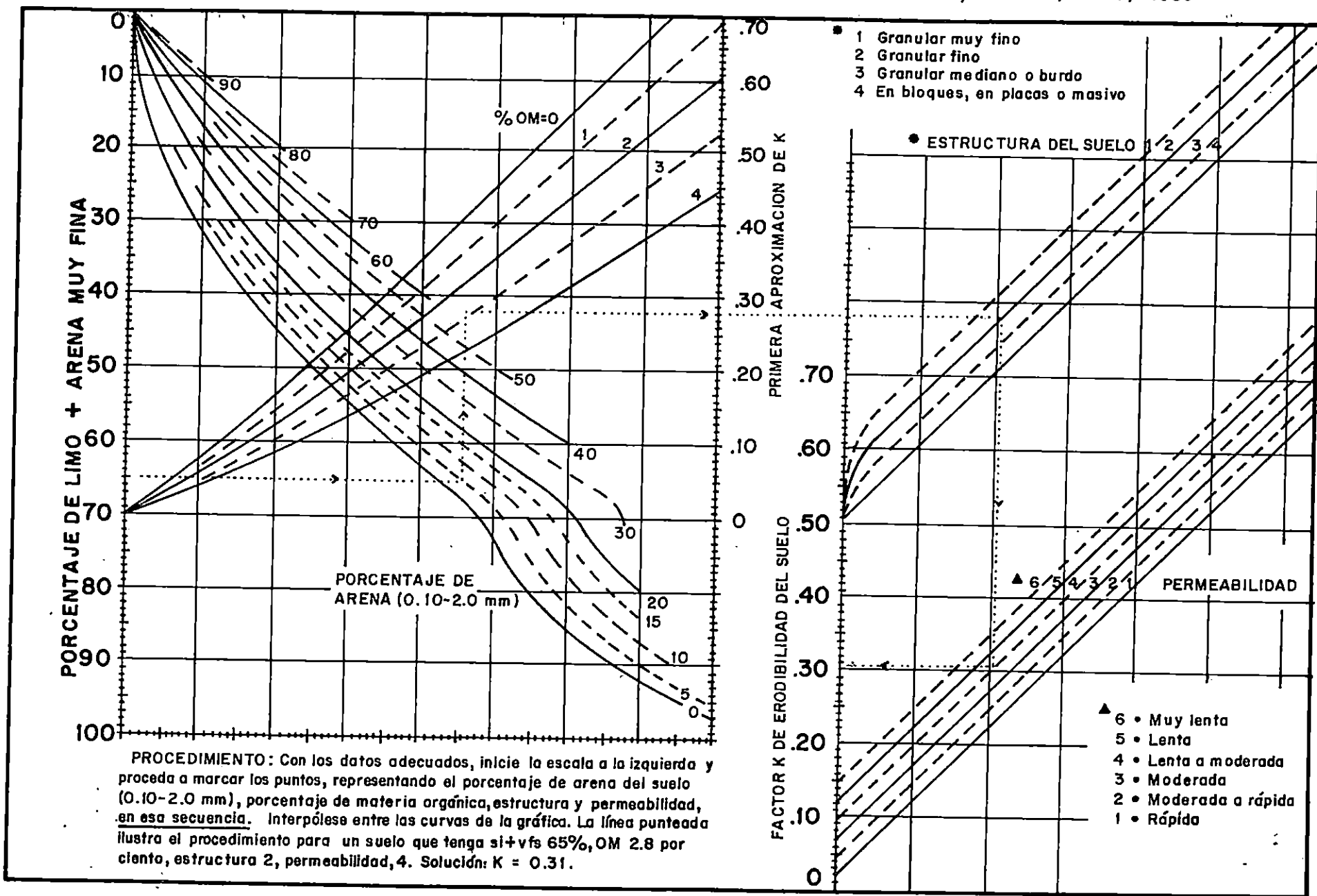


FIGURA N.º 24 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO, K

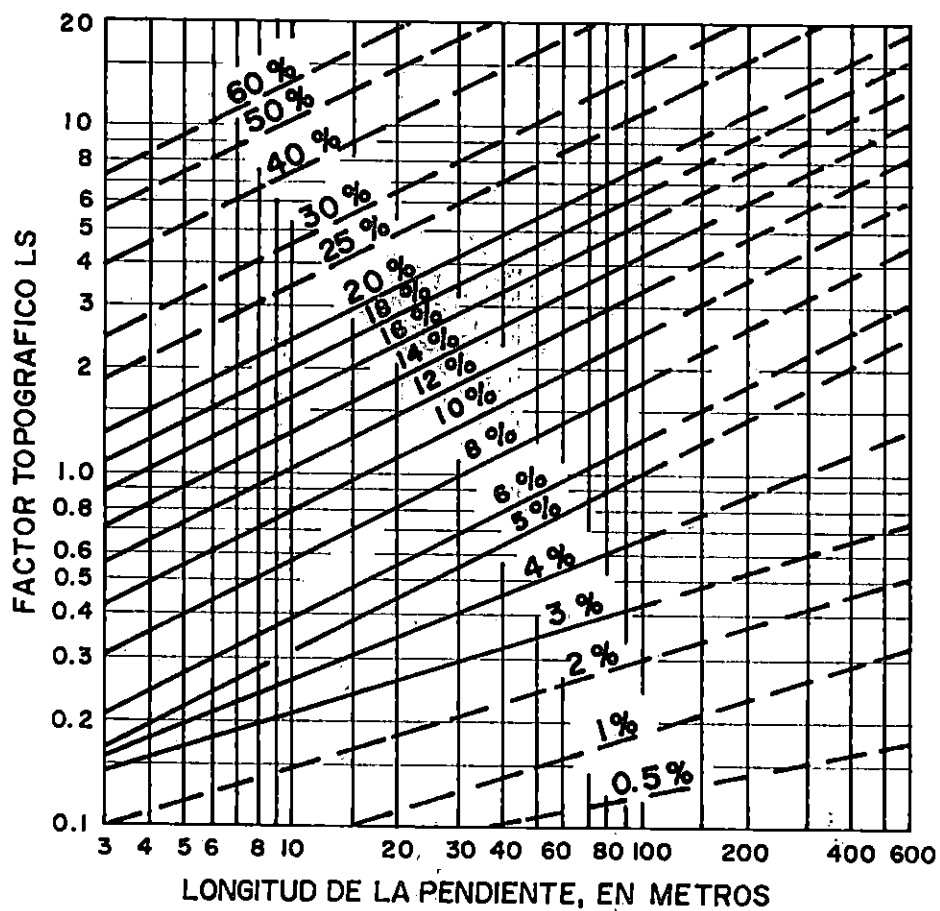
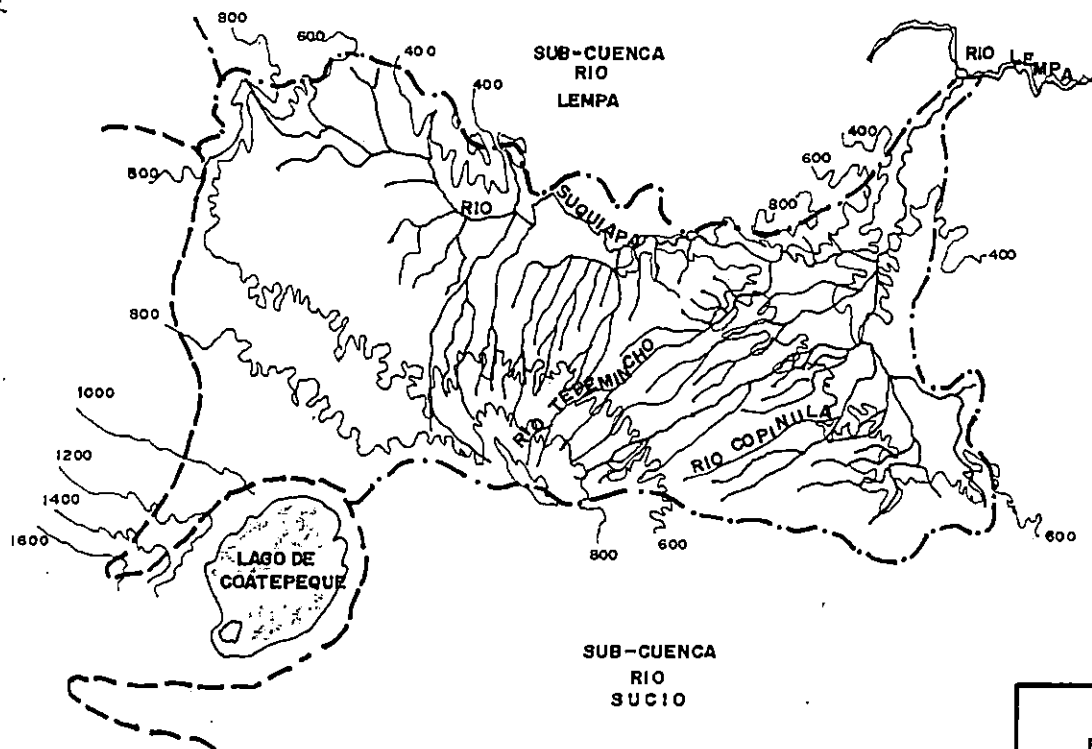
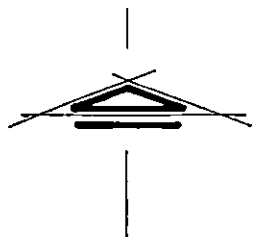


Fig. N°26 Factor de longitud y grado de pendiente, LS, para usarse con la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE).

Fuente: "EROSION DE SUELOS", M.J. Kirkby & R.P.C. Morgan, Editorial John Wiley & Sons, Ltd., 1980.



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

○ LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO:

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

CONTENIDO:

SUB-CUENCA RIO SUQUIAPA

FECHA:

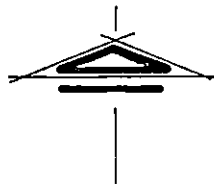
FEBRERO -84

ESCALA:

1:300,000

FIGURA:

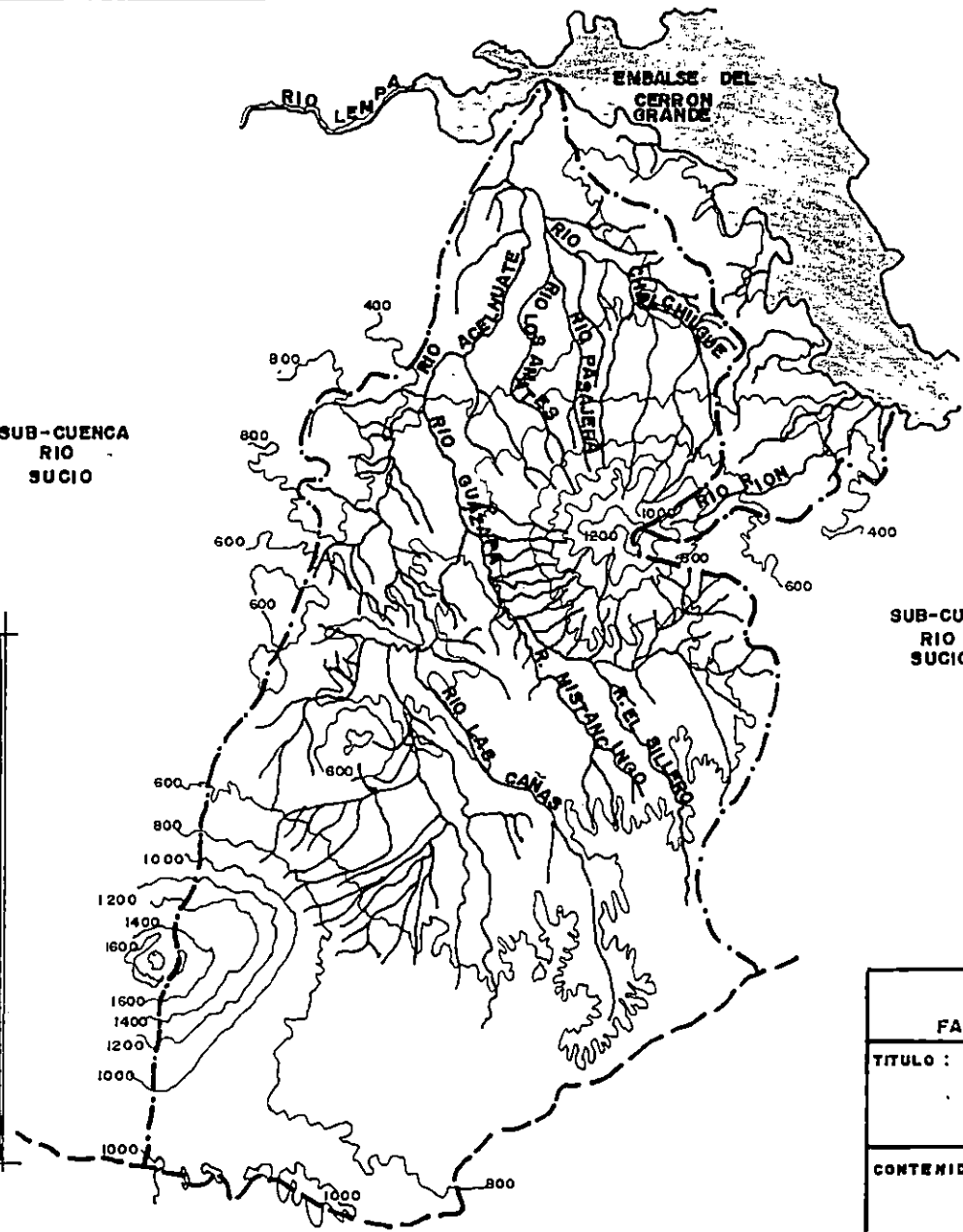
N°27



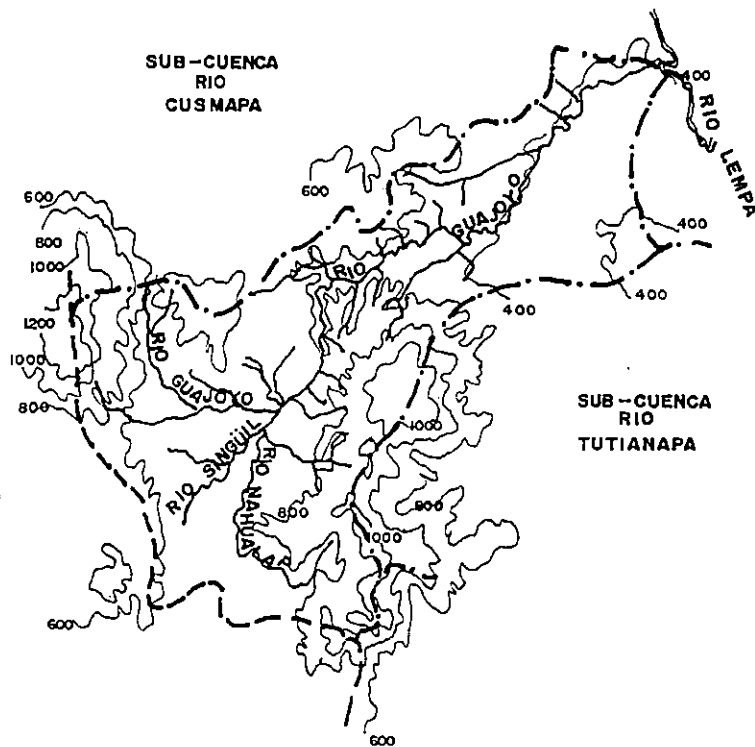
SUB-CUENCA
RIO
SUCIO

SUB-CUENCA
RIO
SUCIO

SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LASUNAS Y EMBALSES
	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO :		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE		
CONTENIDO :		
SUB-CUENCA RIO ACELMUATE		
FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO-94	1 : 300,000	N° 28



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

☞ LAGOS,
LAGUNAS Y EMBALSES

100 CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

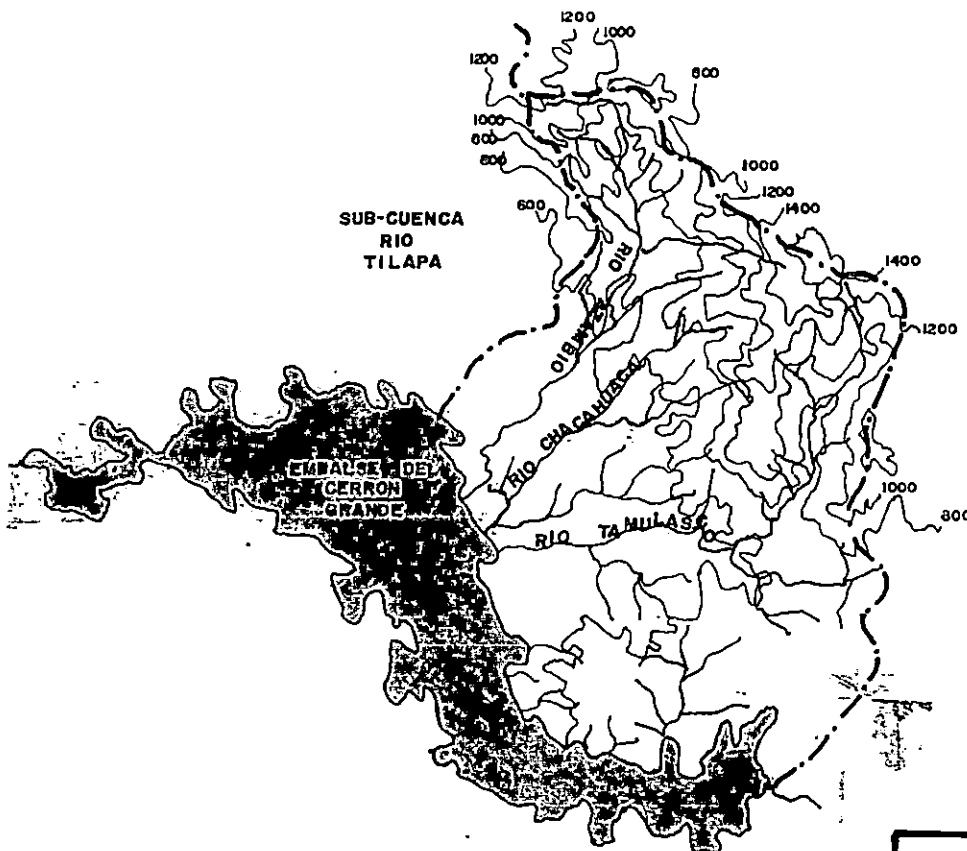
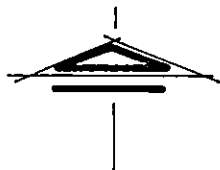
CONTENIDO :

SUB-CUENCA RIO GUAJOYO

FECHA :
FEBRERO - 94

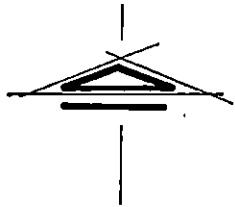
ESCALA :
1 : 300,000

FIGURA:
Nº 29

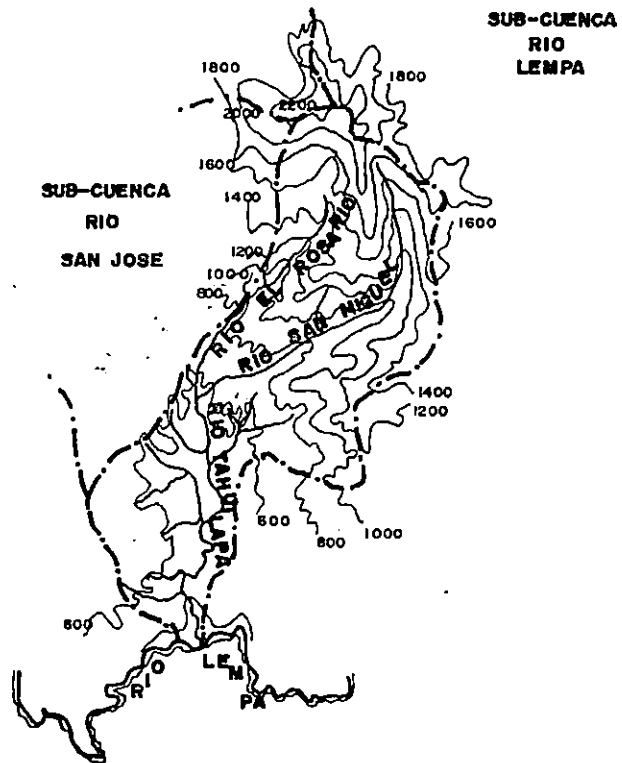


SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	

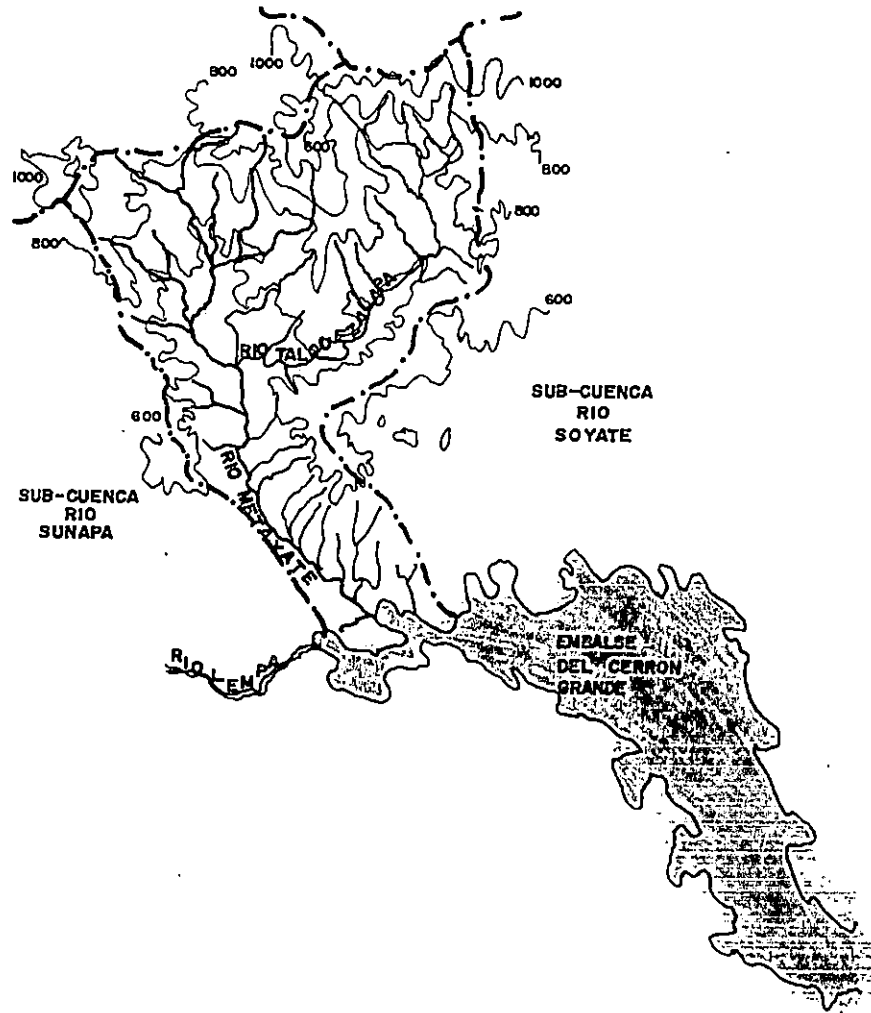
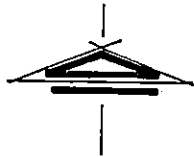
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO:		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE		
CONTENIDO:		
SUB-CUENCA RIO TAMULASCO		
FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO -1994	1:300,000	Nº30



SIMBOLOGIA	
---	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
- - -	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
~ ~ ~	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
~ 100 ~	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO :		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.		
CONTENIDO :		
SUB-CUENCA RIO TAHUILAPA		
FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO-1994	1:300,000	Nº 31



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

● LAGOS, LAGUNAS Y ENBALSES

~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO:

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.






CONTENIDO

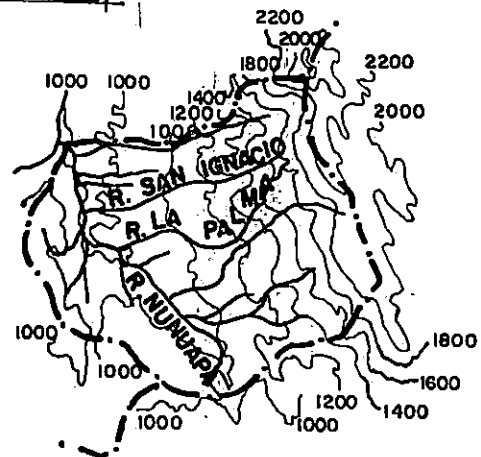
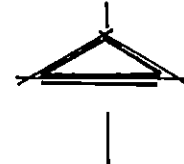
SUB-CUENCA RIO METAYATE

FECHA:
FEBRERO-1994

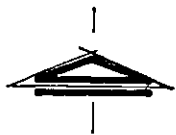
ESCALA:
1:300,000

FIGURA:
N° 32

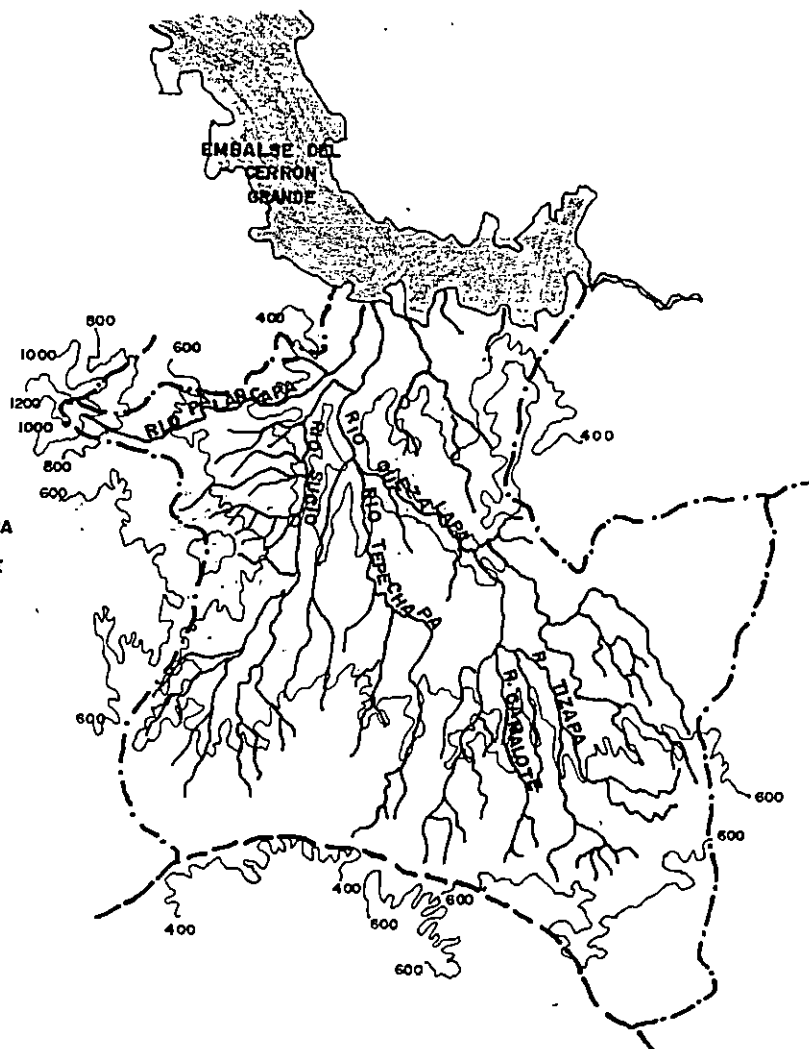
SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO :		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.		
CONTENIDO :		
SUB-CUENCA RIO NUNUAPA		
FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO-1994	1:300,000	Nº 33



SUB-CUENCA
RIO
ACELHUATE



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~100 CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE..

CONTENIDO :

SUB-CUENCA RIO QUEZALAPA

FECHA :

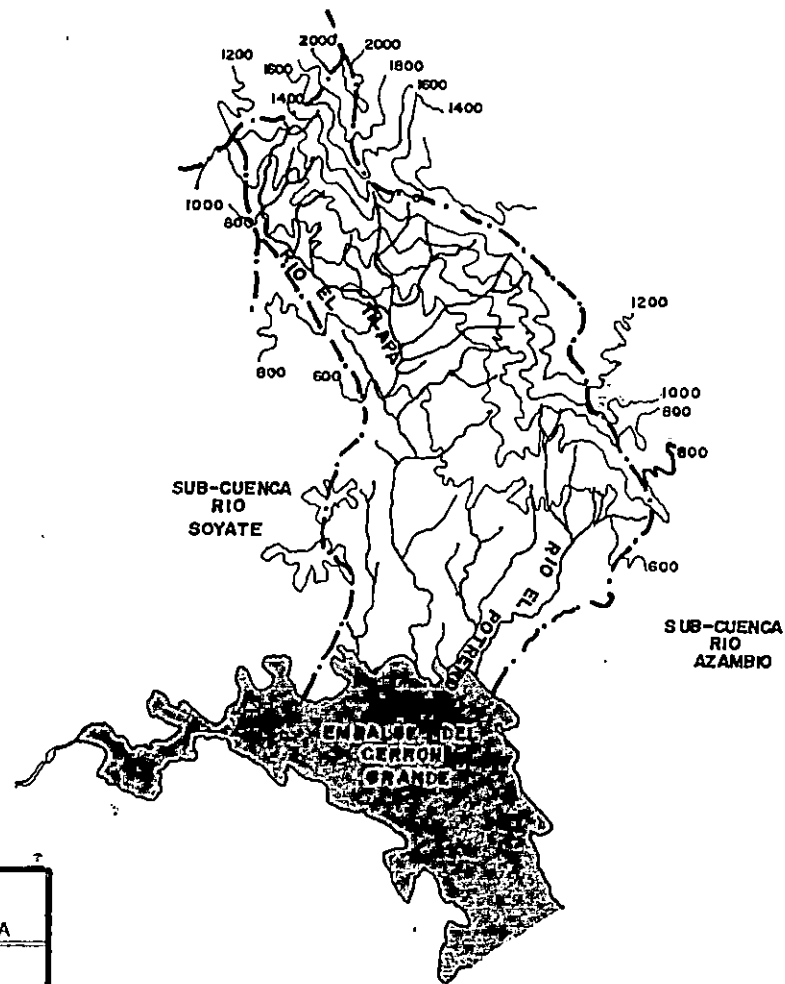
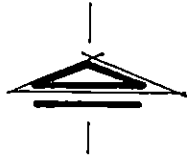
FEBRERO-1994

ESCALA :

1 : 300,000

FIGURA :

Nº 34



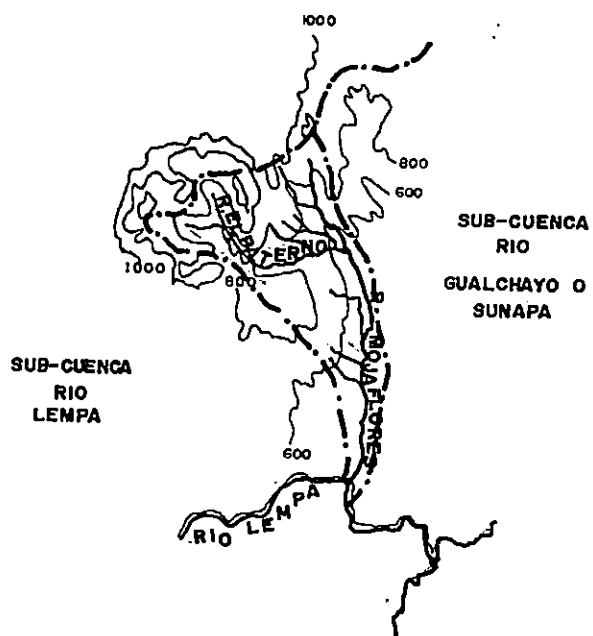
SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y ENBALSES
	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO :
SUB-CUENCA RIO GRANDE
DE CHALATENANGO

FECHA : FEBRERO - 1994	ESCALA : 1 : 300,000	FIGURA : Nº 35
---------------------------	-------------------------	-------------------



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

— RIOS, QUEBRADAS

● LAGOS, LASUNAS Y EMBALSES

~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

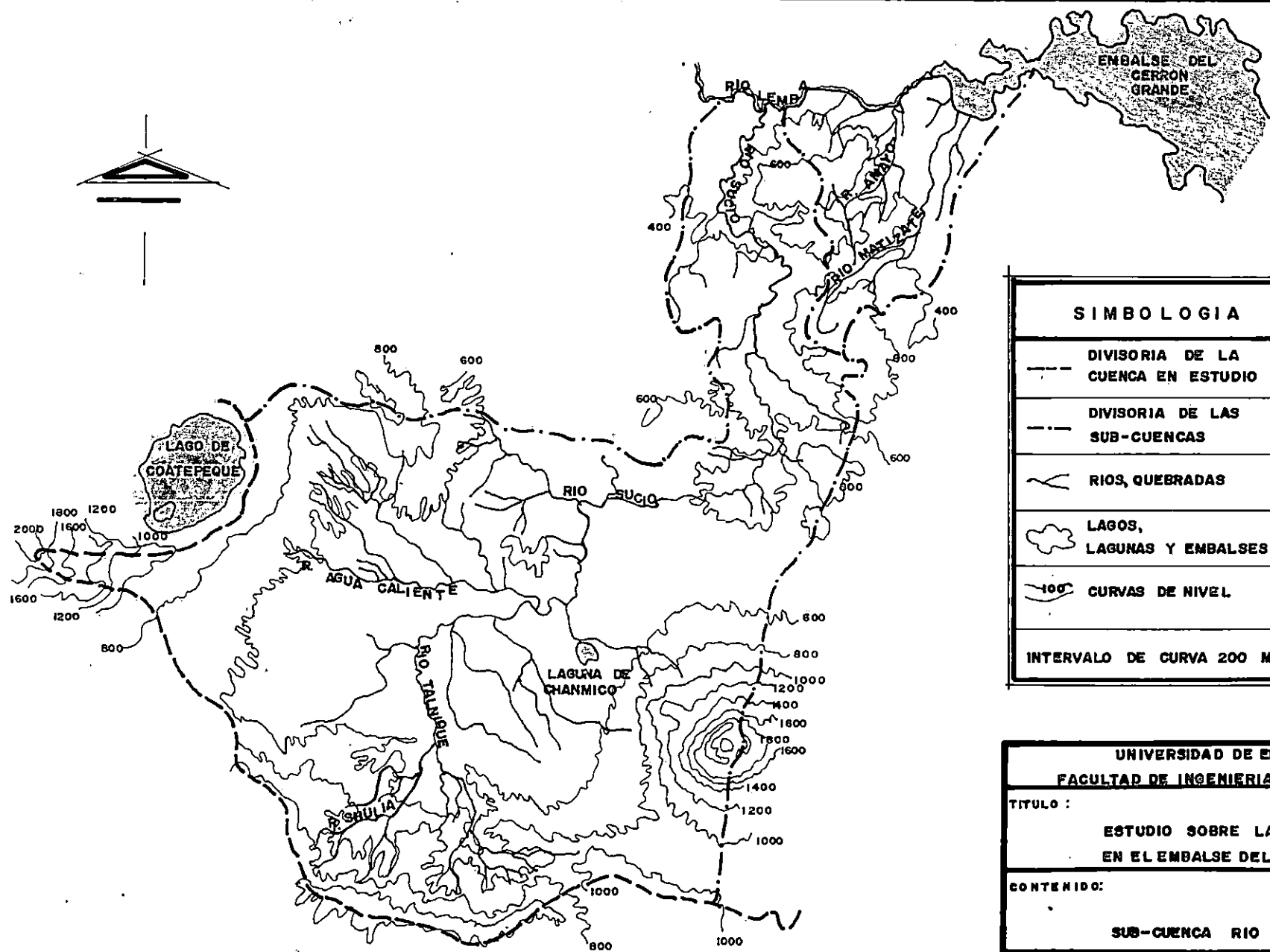
TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO :
SUB-CUENCA RIO MOJAFLORES

FECHA :
FEBRERO-1994

ESCALA :
1:300,000

FIGURA :
N° 36



SIMBOLOGIA

- — — DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
- ~ RIOS, QUEBRADAS
- ☁ LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
- 100 — CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

CONTENIDO:
SUB-CUENCA RIO SUCIO

FECHA :
FEBRERO-94

ESCALA :
1:300,000

FIGURA :
N° 37



GUATEMALA

HONDURAS

SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

••• LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~100~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

SUB-CUENCA RÍO ANGUÉ

SUB-CUENCA RÍO CUSMAPA

LAGUNA DE ATESCATEMPA

LAGO DE GUIJA

Laguna de Retana

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

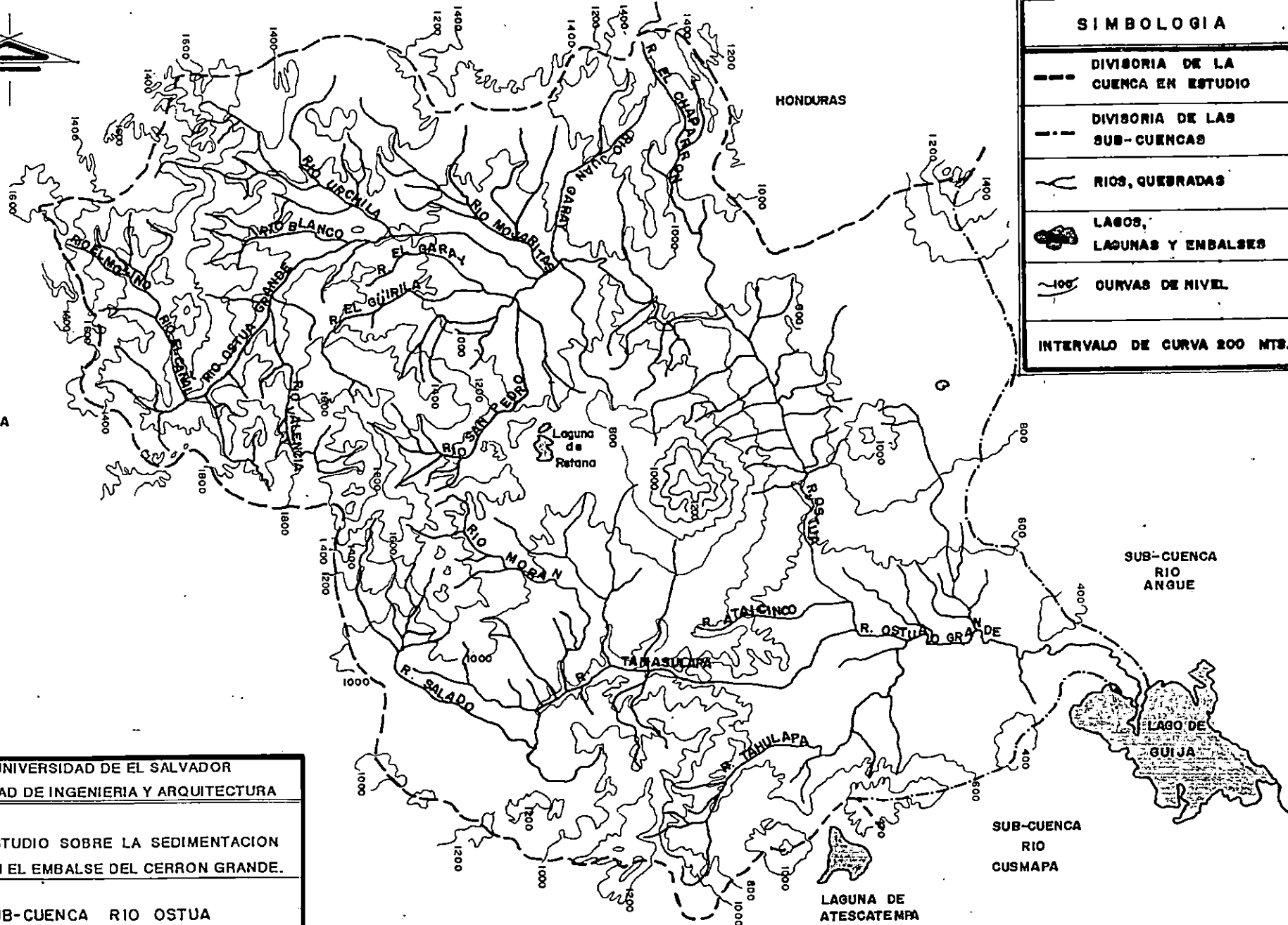
TÍTULO:
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

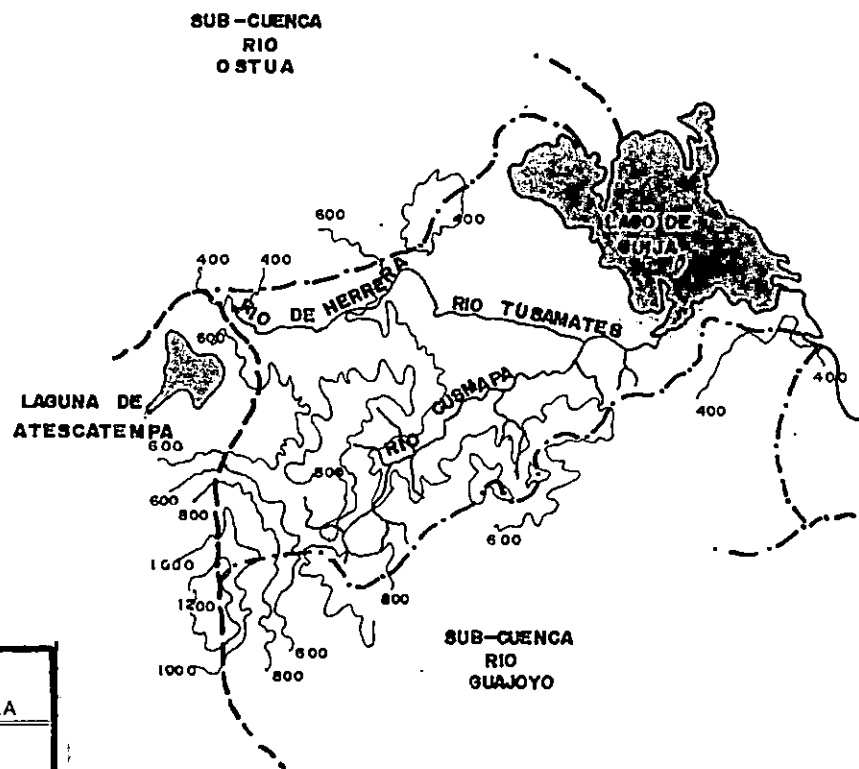
CONTENIDO:
SUB-CUENCA RÍO OSTUA

FECHA:
FEBRERO-1994

ESCALA:
1:300,000

FIGURA:
N° 38





SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

LAGOS, LAGUNAS Y ENBALSES

~400~ CURVAS DE NIVEL

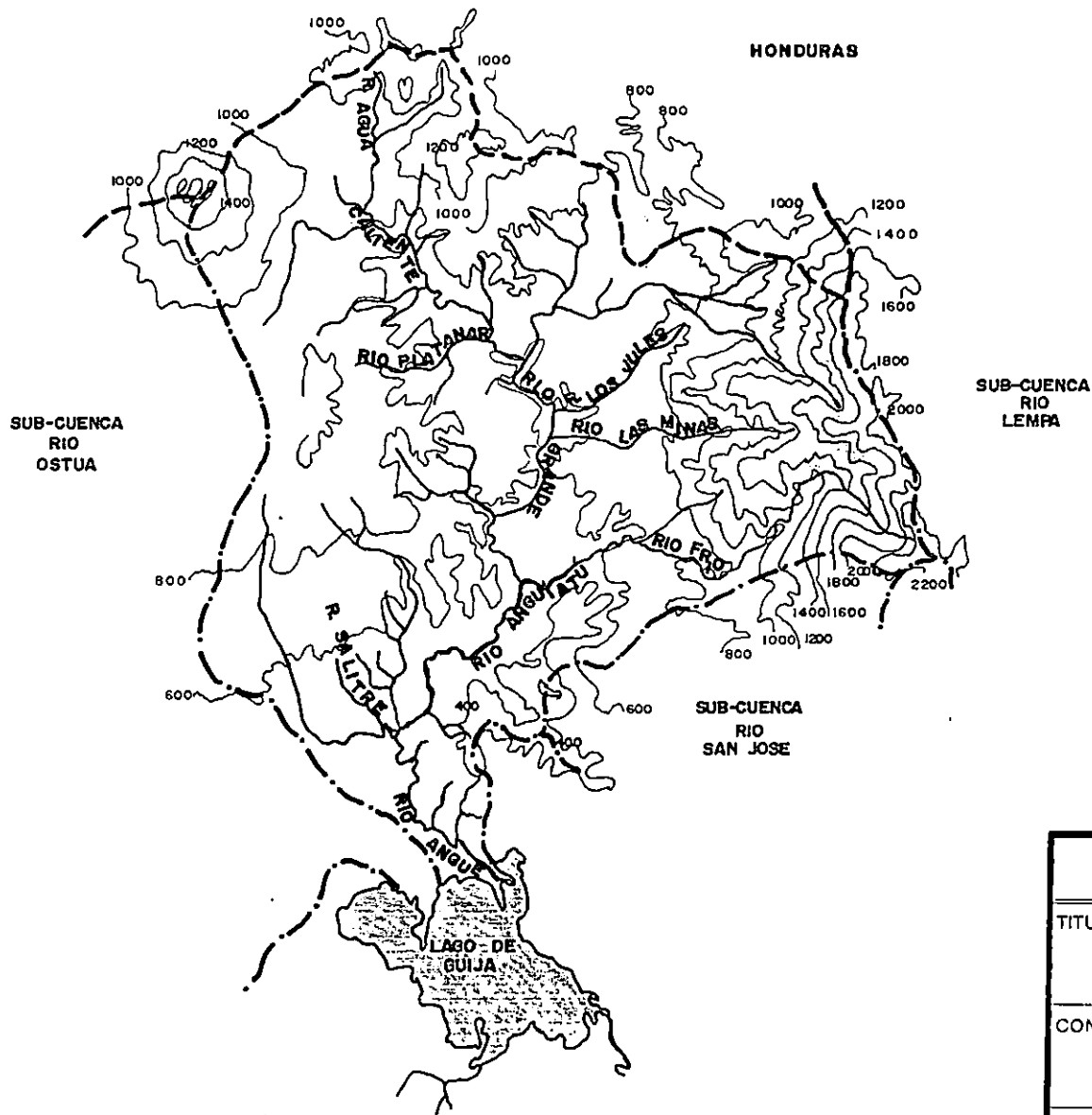
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA






TITULO:
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO:
SUB-CUENCA RIO CUSMAPA

FECHA: FEBRERO-1994	ESCALA: 1:300,000	FIGURA: N° 39
------------------------	----------------------	------------------



SIMBOLOGIA

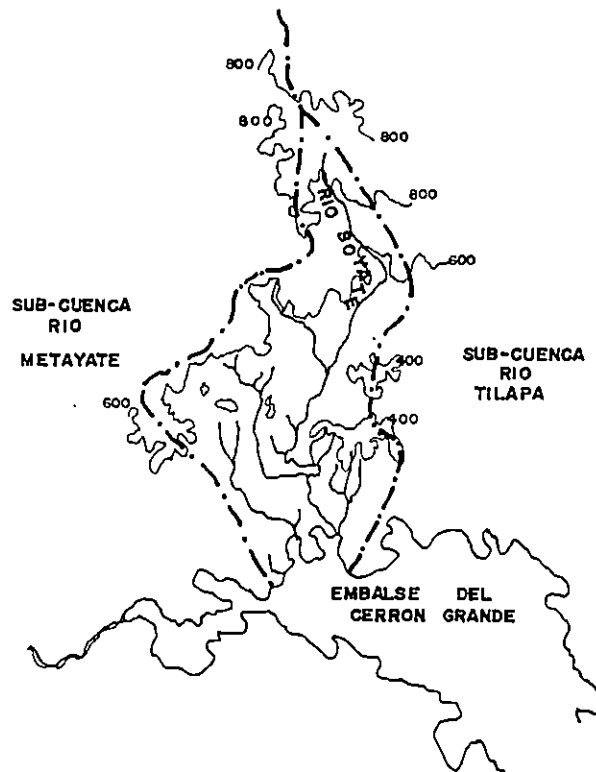
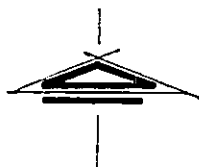
-  DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
 -  DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
 -  RIOS, QUEBRADAS
 -  LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
 -  CURVAS DE NIVEL
- INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO :
SUB-CUENCA RIO ANGUE

FECHA : FEBRERO- 1994	ESCALA : 1: 300, 000	FIGURA : N° 40
--------------------------	-------------------------	-------------------



SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO :		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.		
CONTENIDO :		
SUB-CUENCA RIO SOYATE		
FECHA :	ESCALA :	FIGURA :
FEBRERO-1994	1:300,000	Nº 41

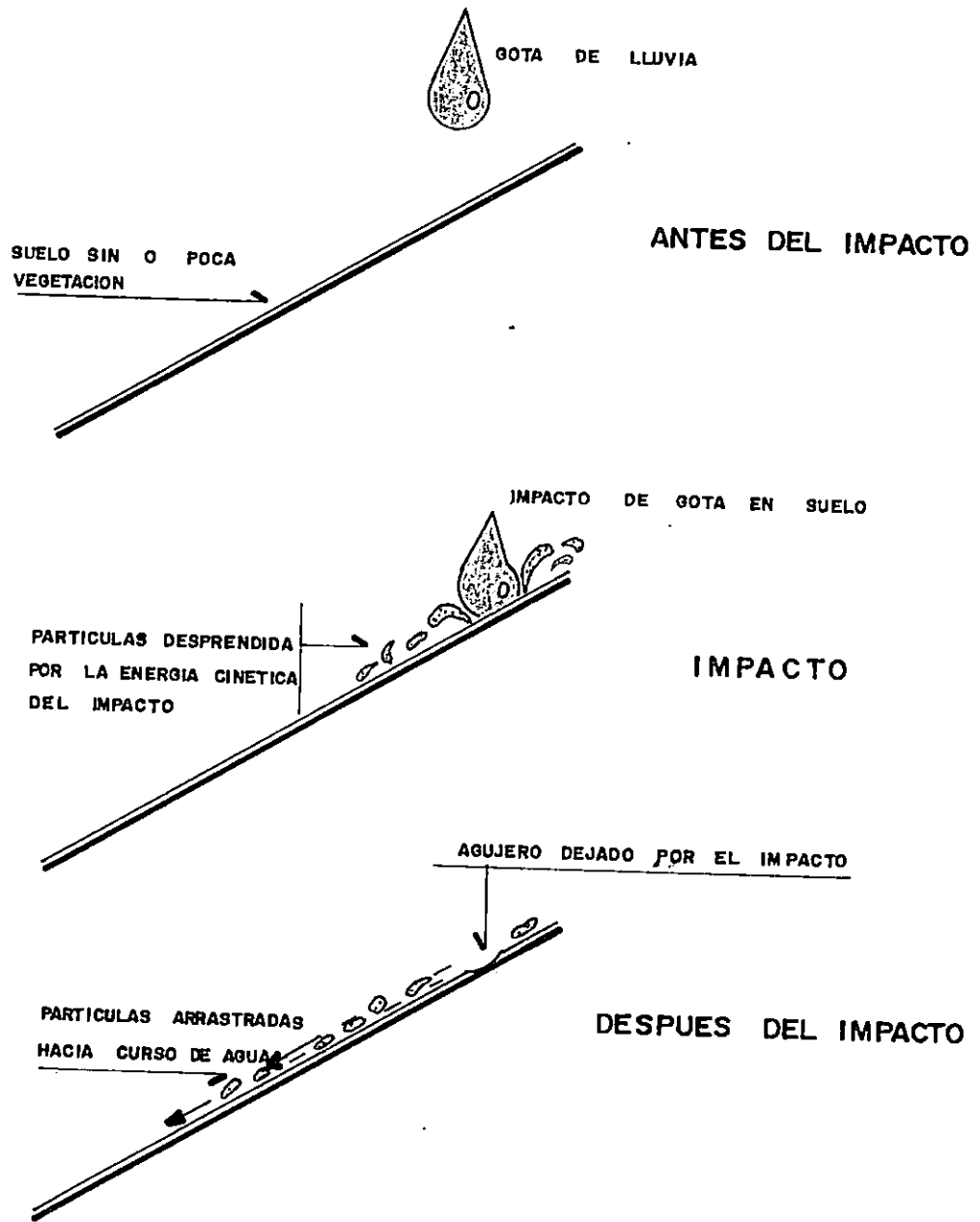


FIGURA N° 43. EFECTO DEL IMPACTO DE LAS GOTAS DE LLUVIA

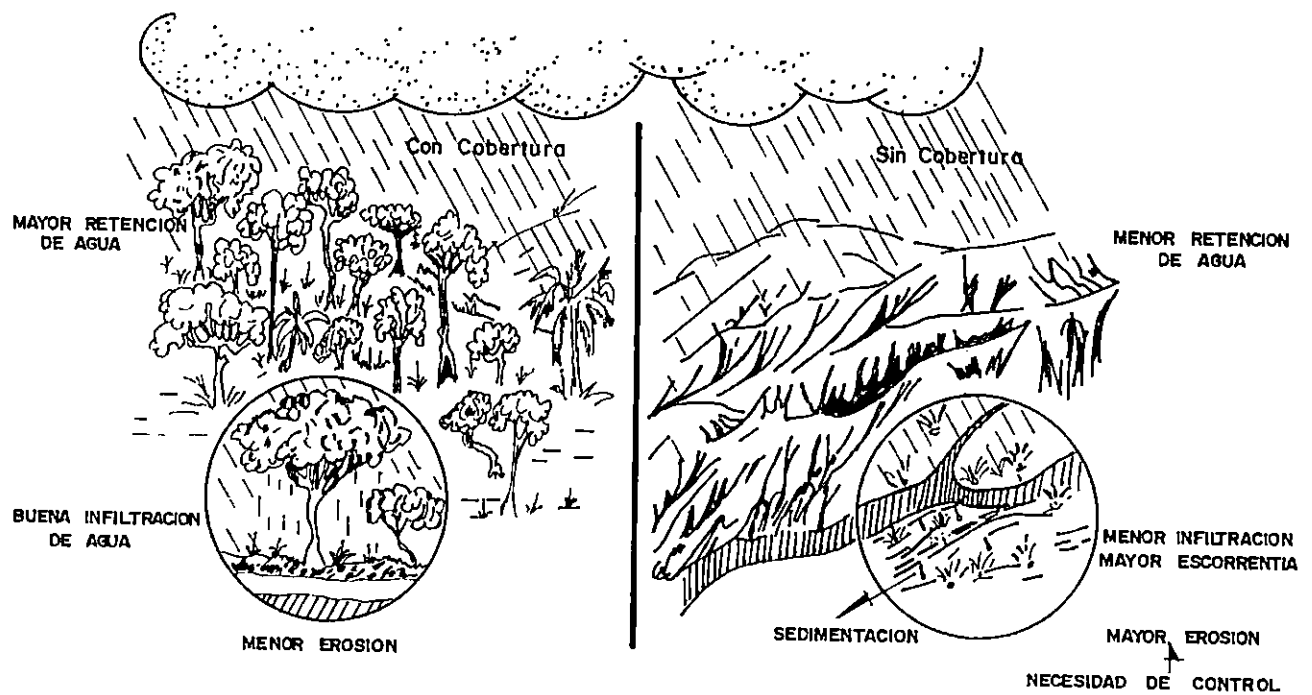
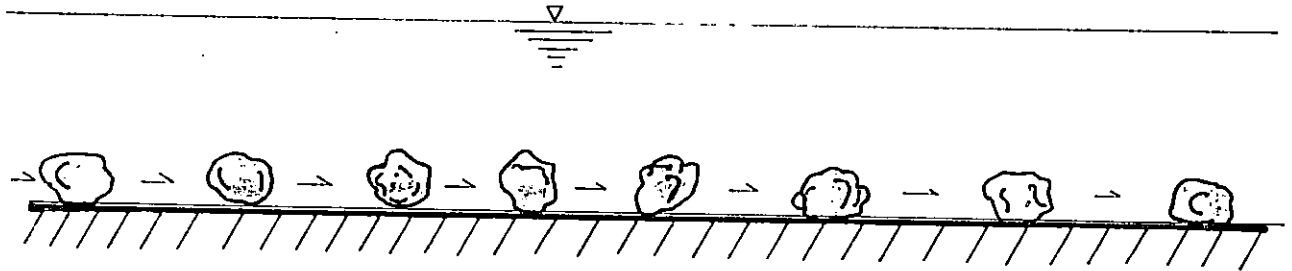
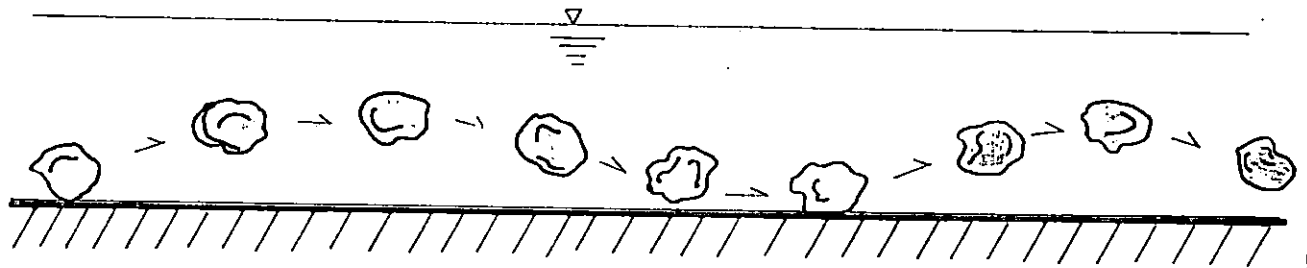


FIG. N° 44 . EFECTO DE LA LLUVIA SOBRE EL SUELO EN RELACION CON LA COBERTURA VEGETAL

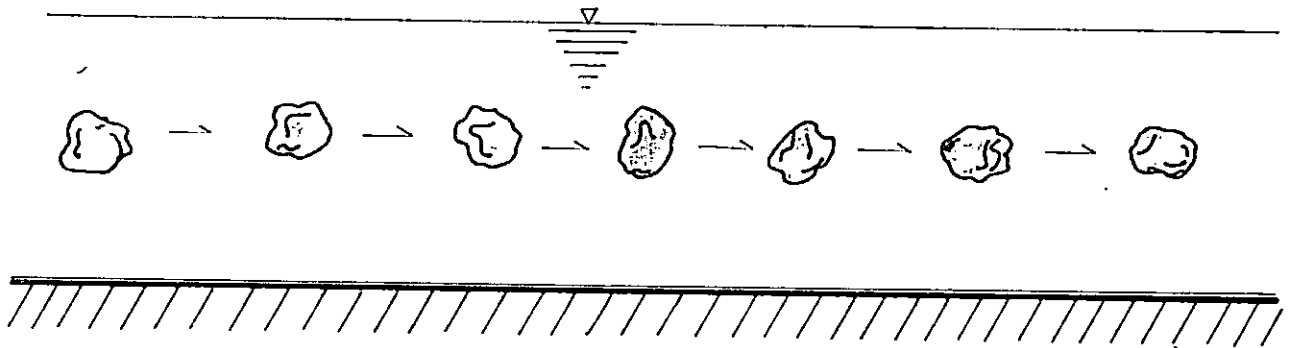
FIGURA N° 45
FORMAS DE TRANSPORTES



ARRASTRE



SALTACION



SUSPENSION

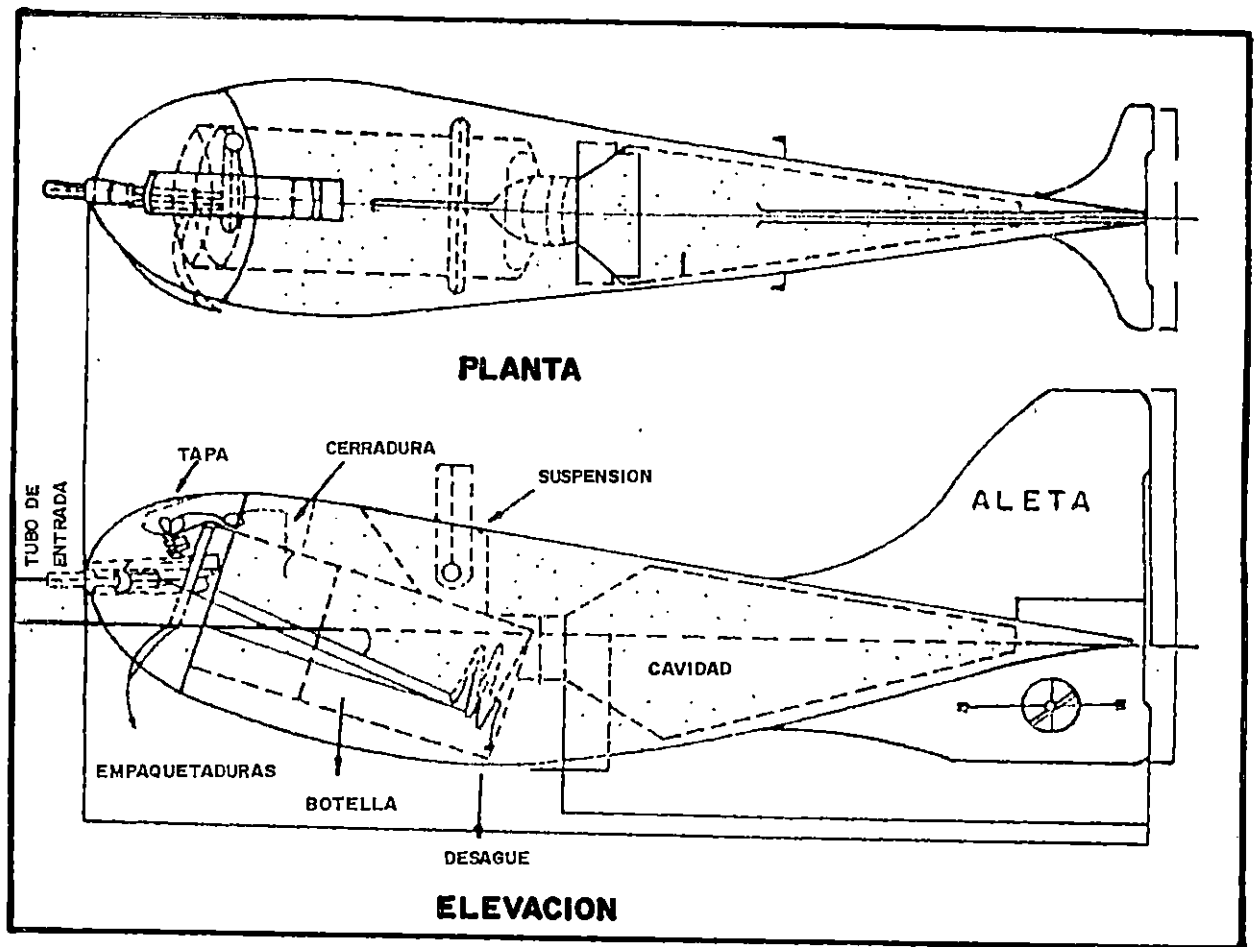


FIGURA N.º 46 MUESTREADOR U.S. P-49

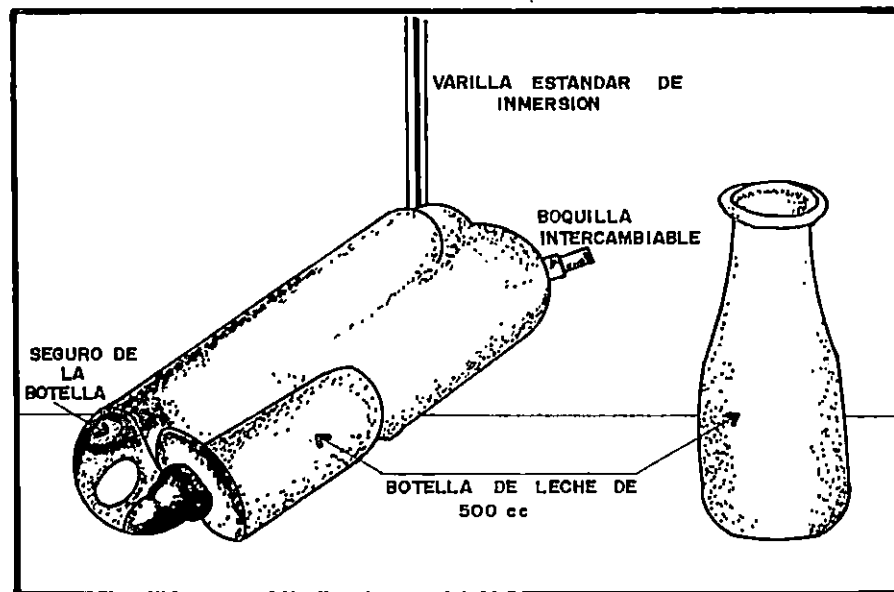


FIG. N.º 47 MUESTREADOR U.S.D.H. - 48

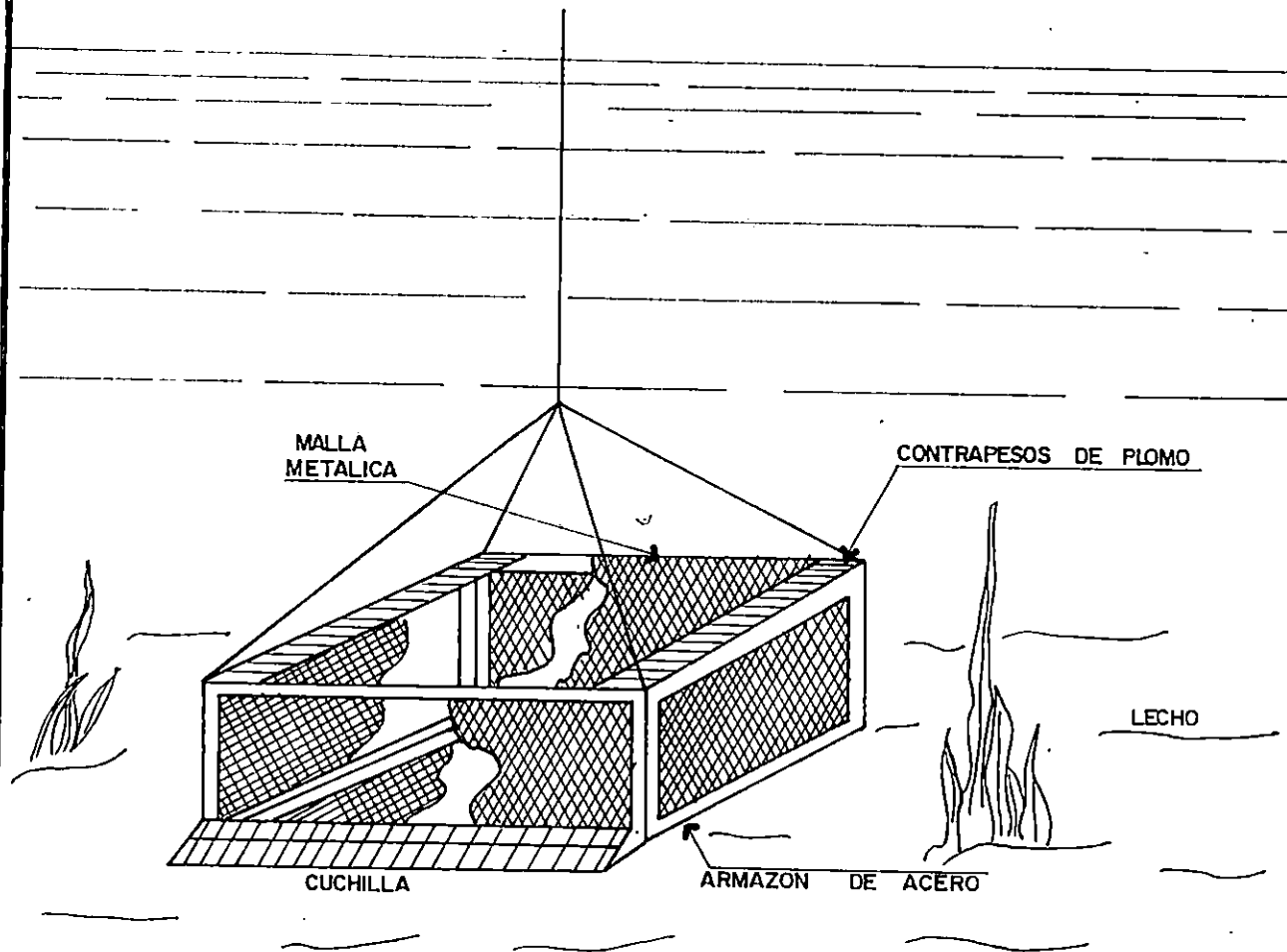
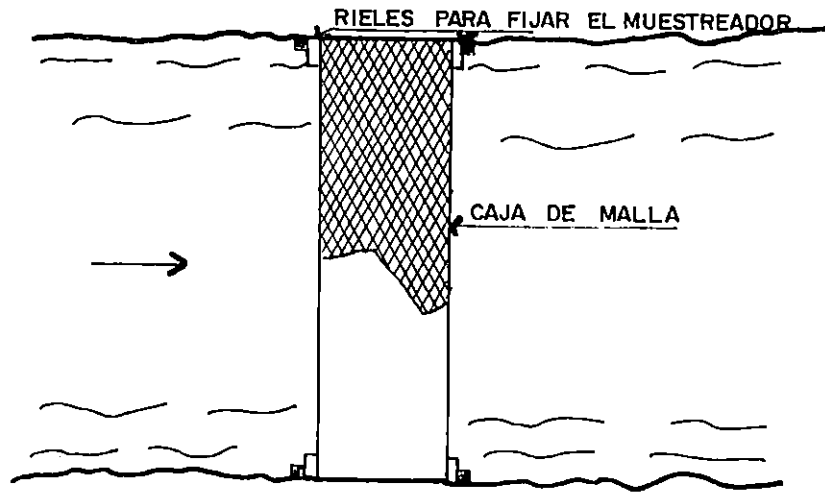
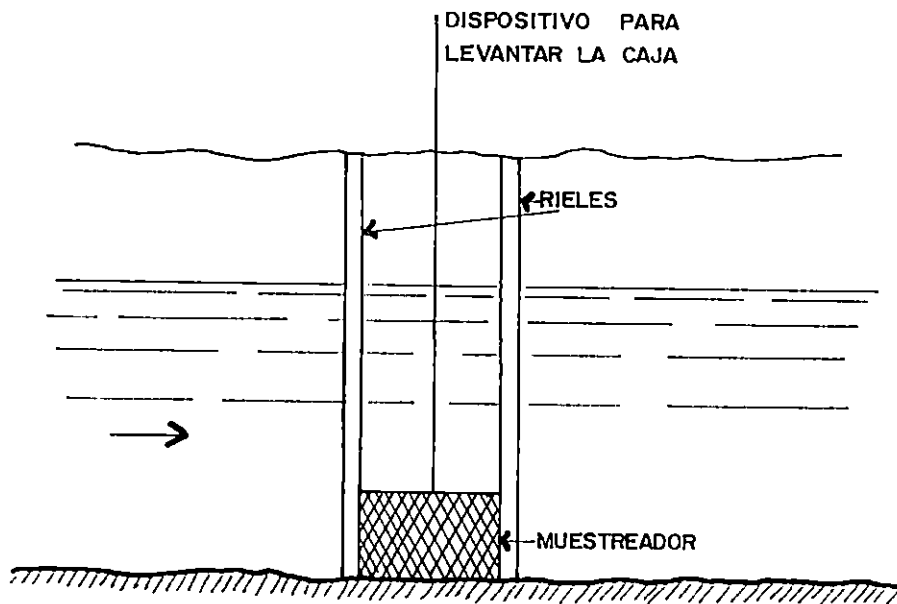


FIGURA N°48. MUESTREADOR DE CAJA DE MALLA



PLANTA



ELEVACION

FIGURA N°49 MUESTREADOR CUBRIENDO TODO EL ANCHO DE UN CANAL

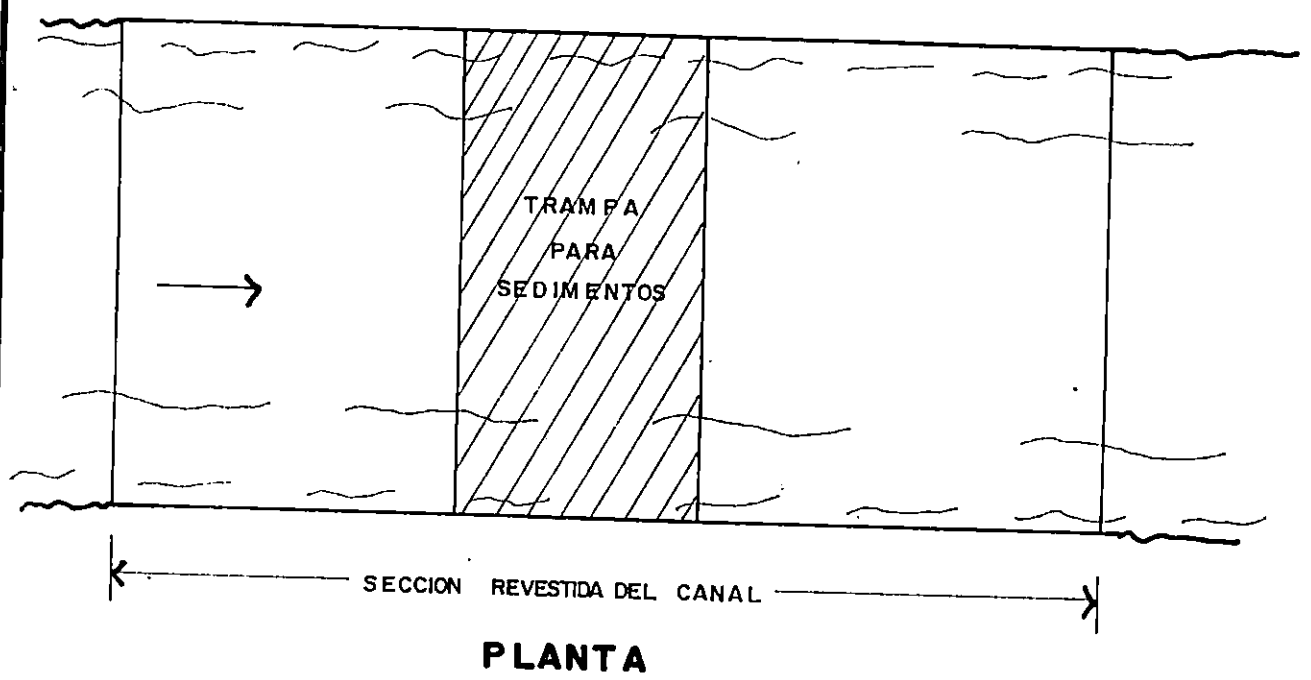
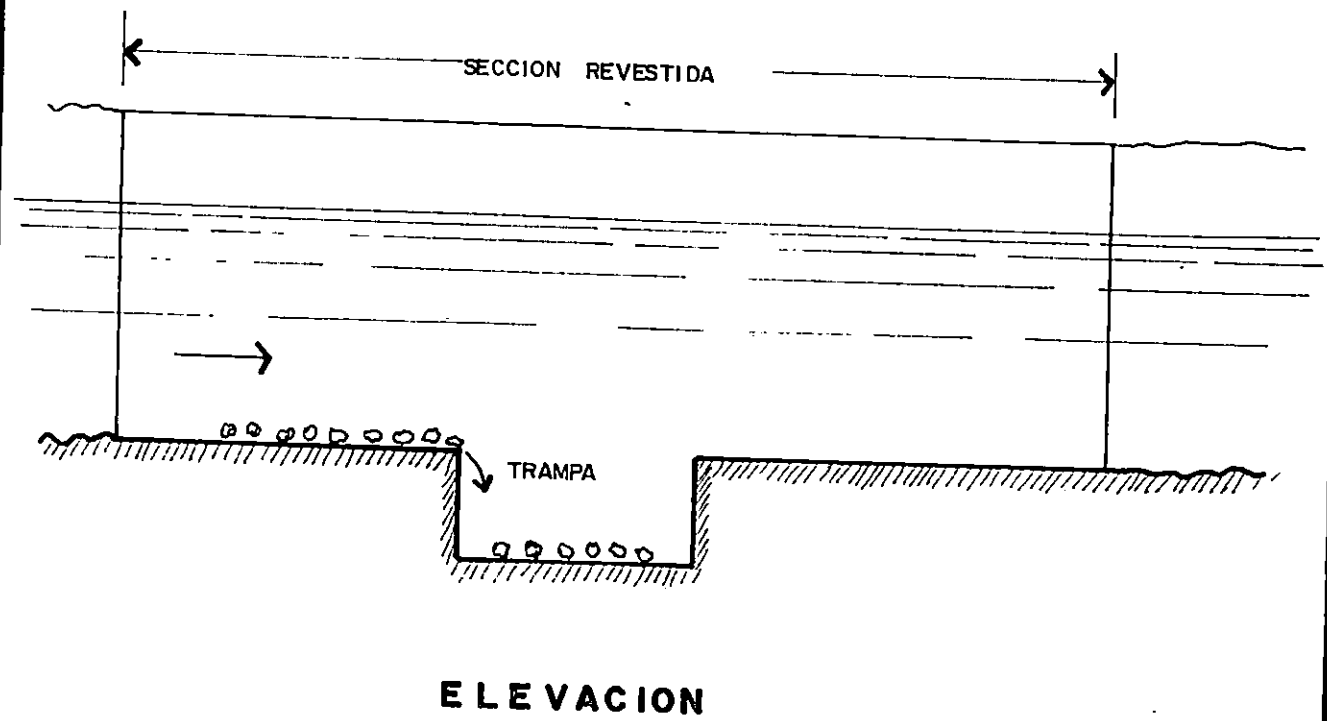


FIGURA N°50 TRAMPA PARA LA MEDIDA DEL SEDIMENTO

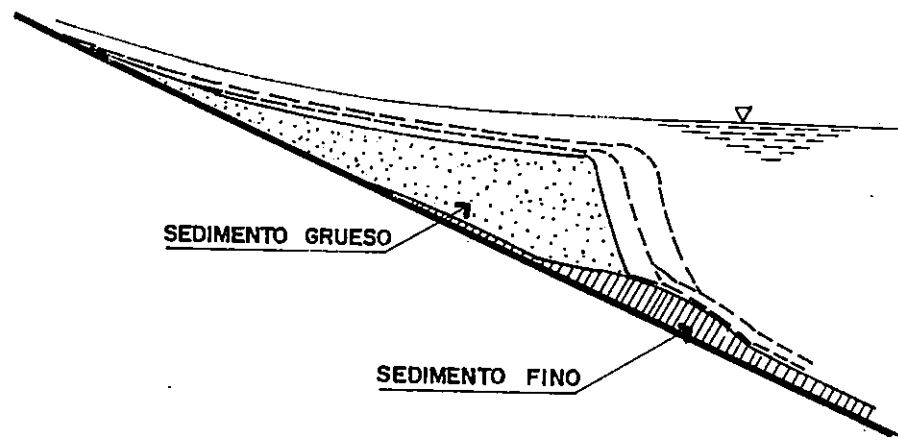


FIG. N°51 **PERFIL TIPICO DE DEPOSICION DE**
SEDIMENTOS EN UN RESERVORIO

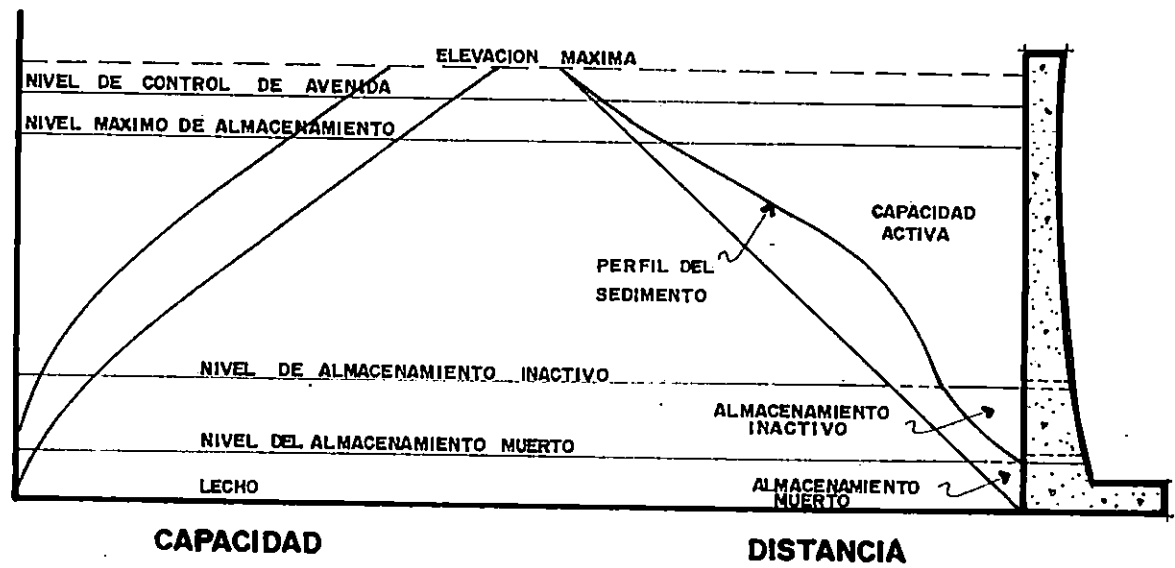


FIGURA N°52 ESQUEMA DE LA SEDIMENTACION DE UN RESERVORIO

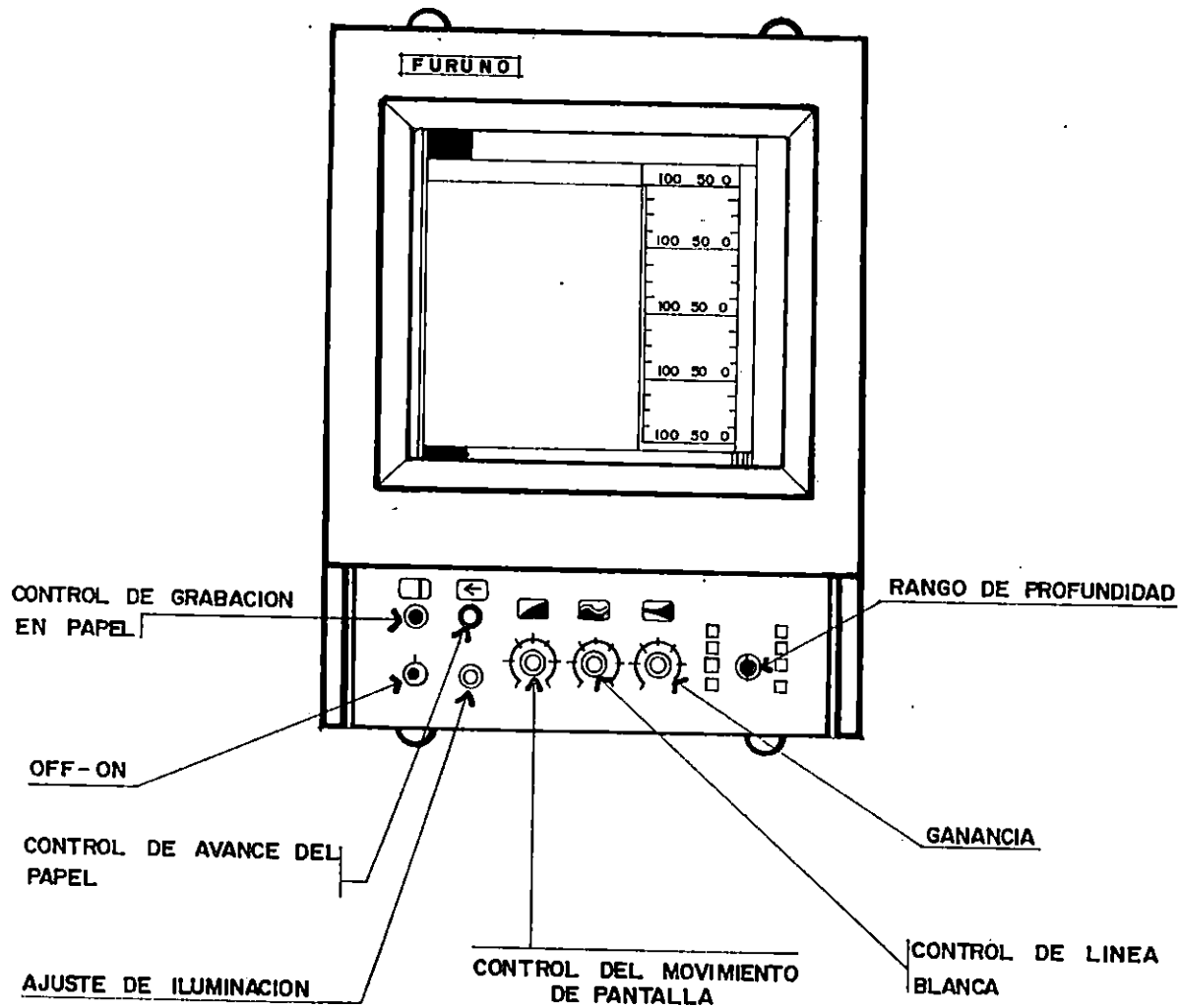


FIGURA N°53 . ECOSONDA UTILIZADA EN LEVANTAMIENTOS BATIMETRICOS

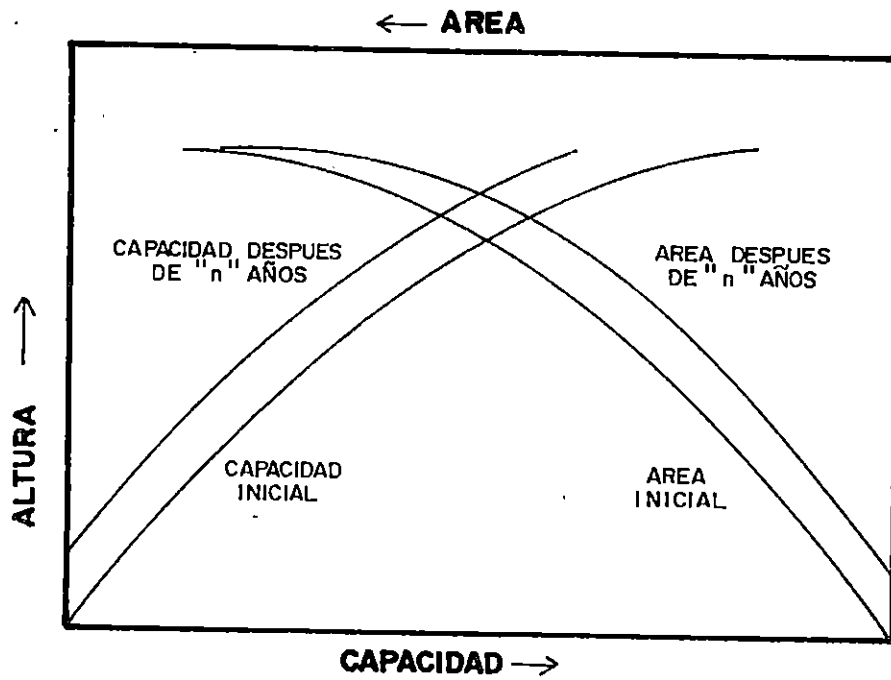


FIG.55. CURVAS AREA-CAPACIDAD DE UN RESERVORIO

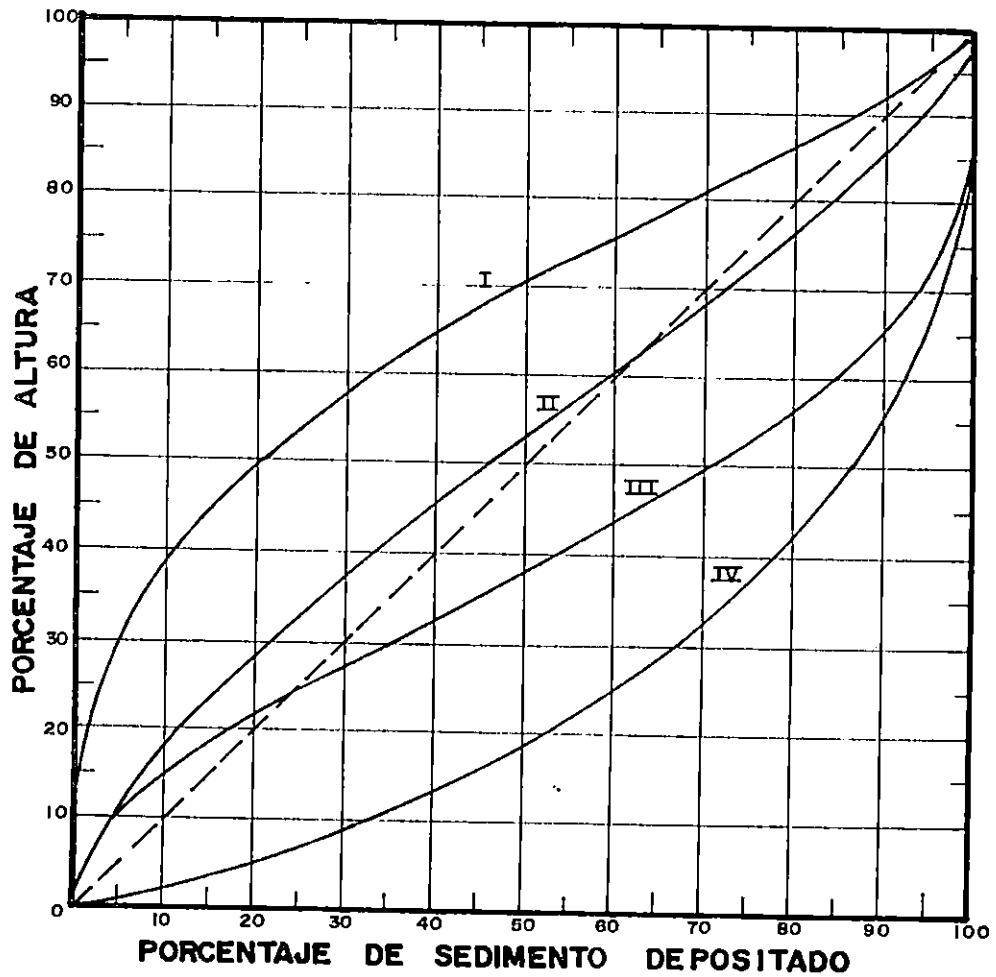


FIG. N°56 CURVAS DE DISTRIBUCION DEL SEDIMENTO

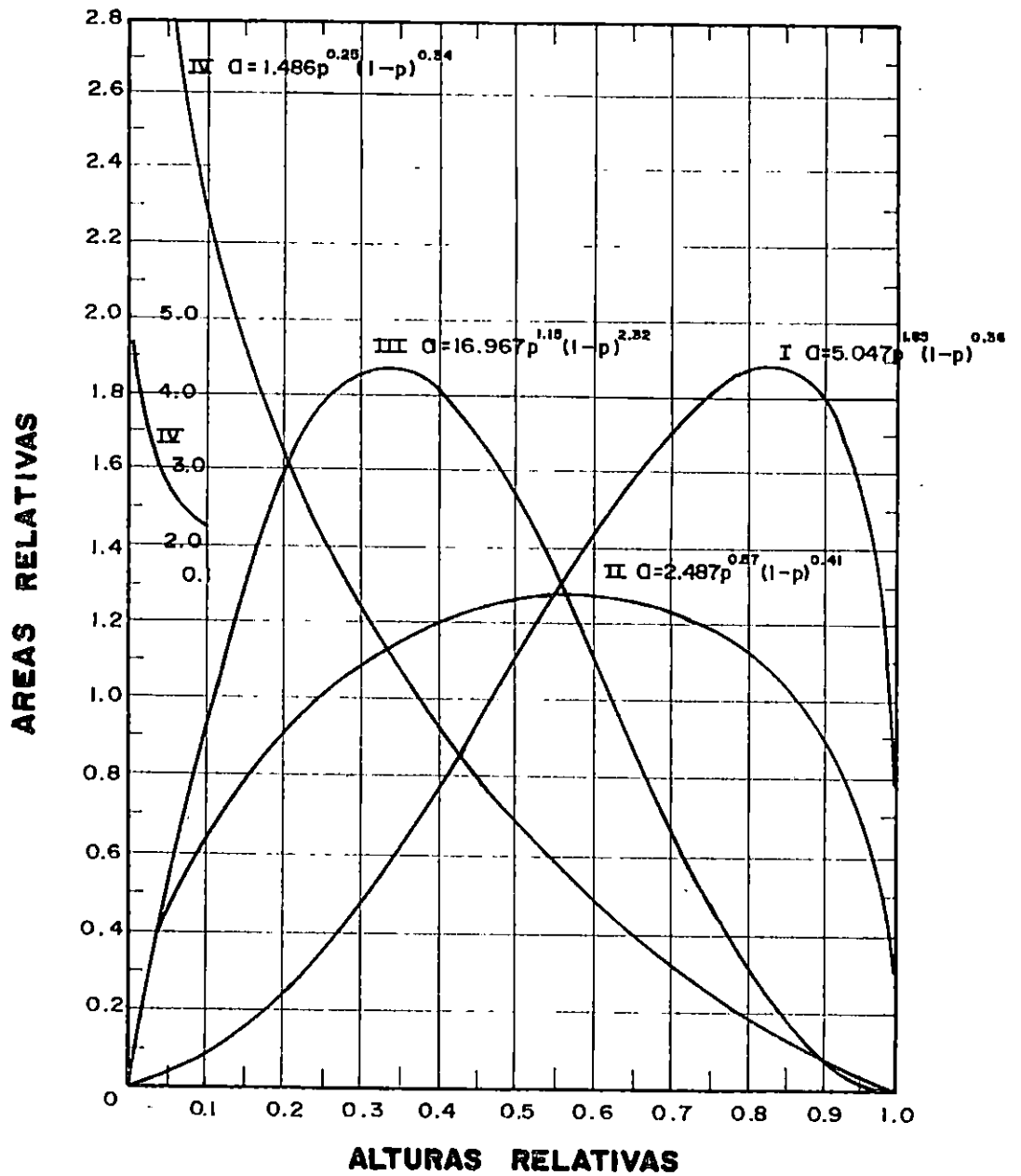


FIGURA No 57 . CURVAS DE AREAS RELATIVAS

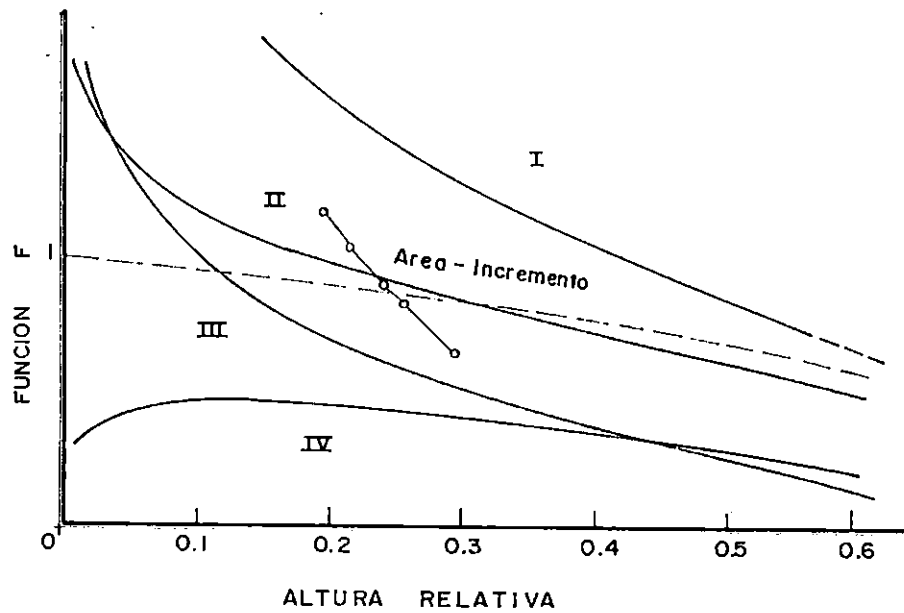


FIGURA N° 58 . CURVAS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE SEDIMENTO EN UN RESERVORIO

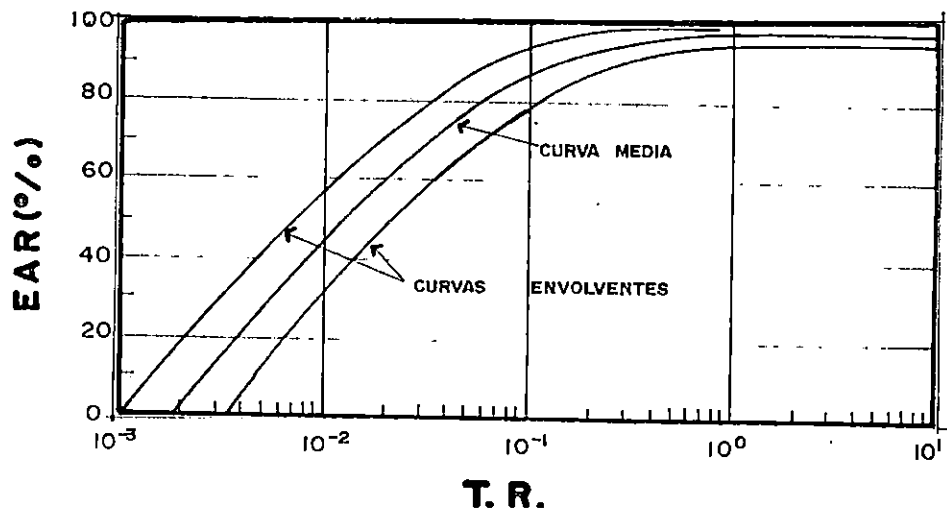


FIG. N.º59. EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO (BRUNE)

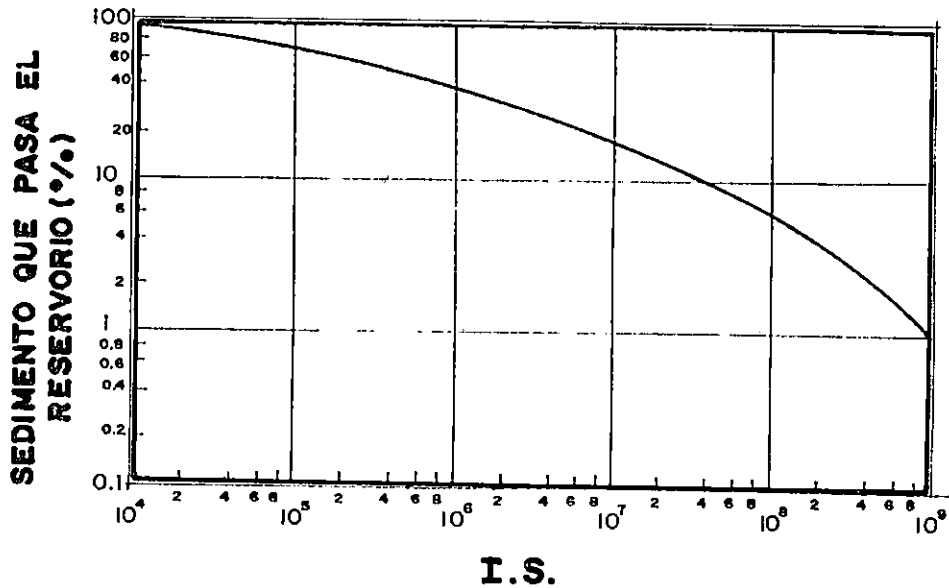
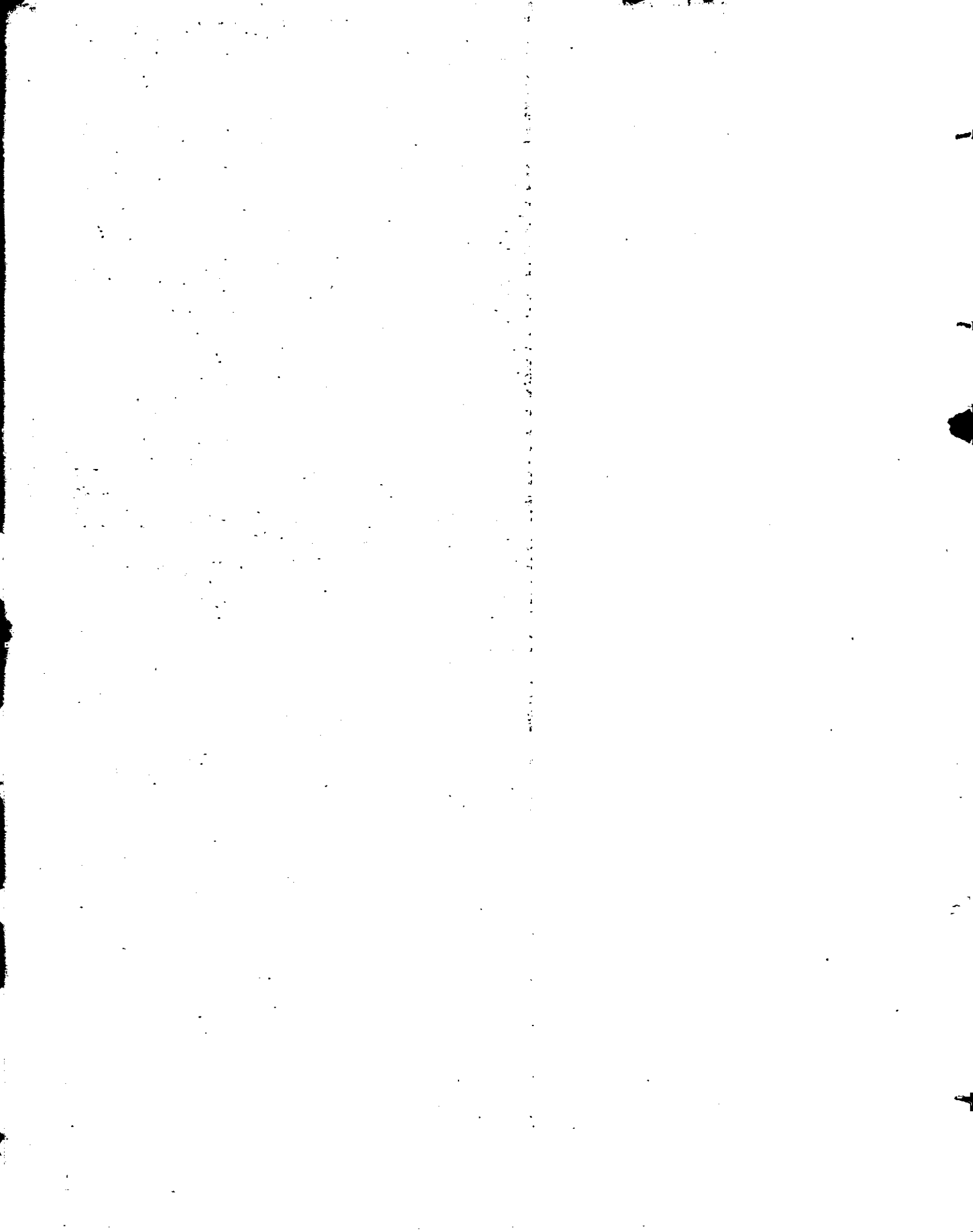


FIG. N.º60. EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO (CHURCHILL)



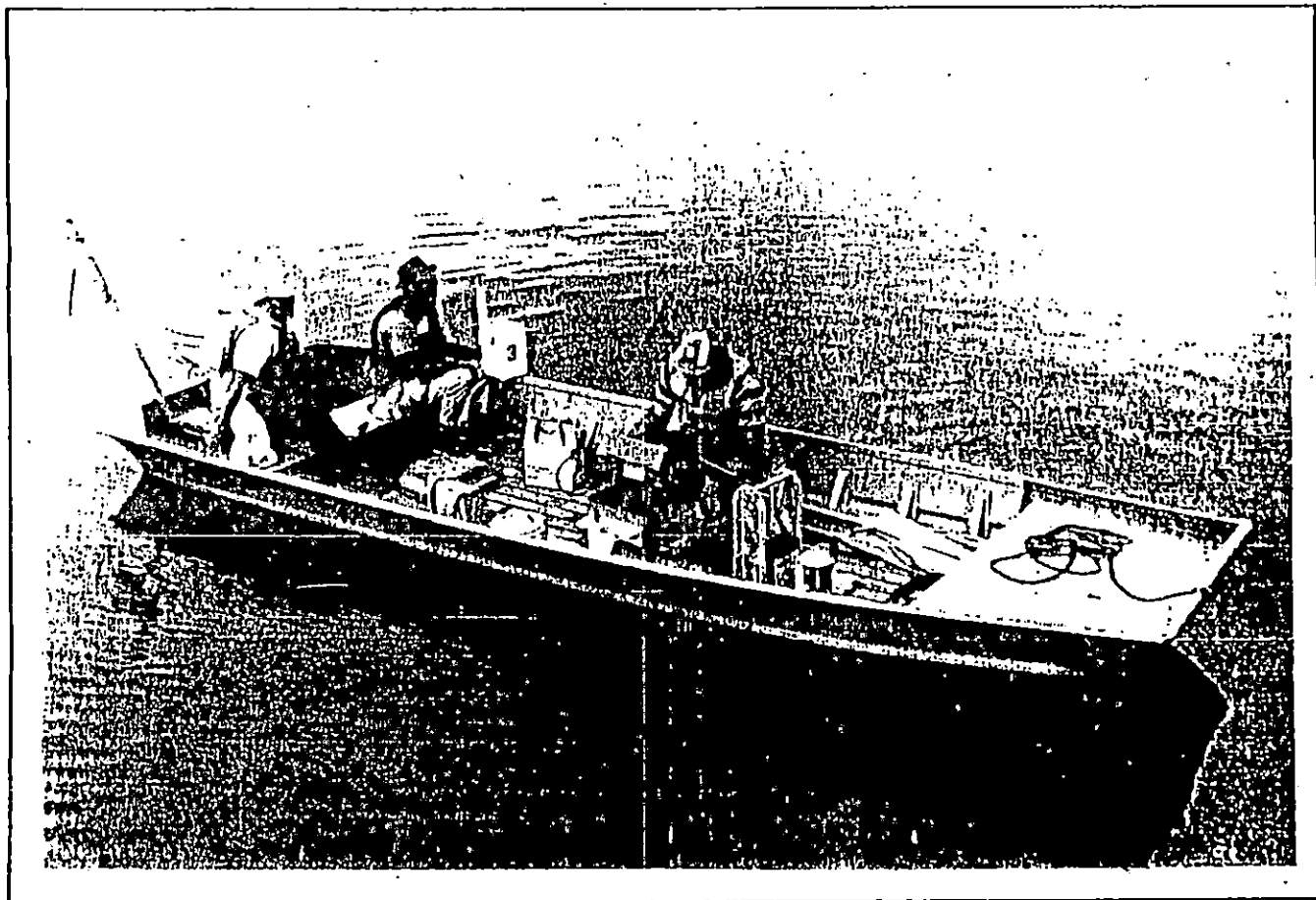


FIG.N° 62 LANCHA PARA LA REALIZACION DE LEVANTAMIENTOS
BATIMETRICOS

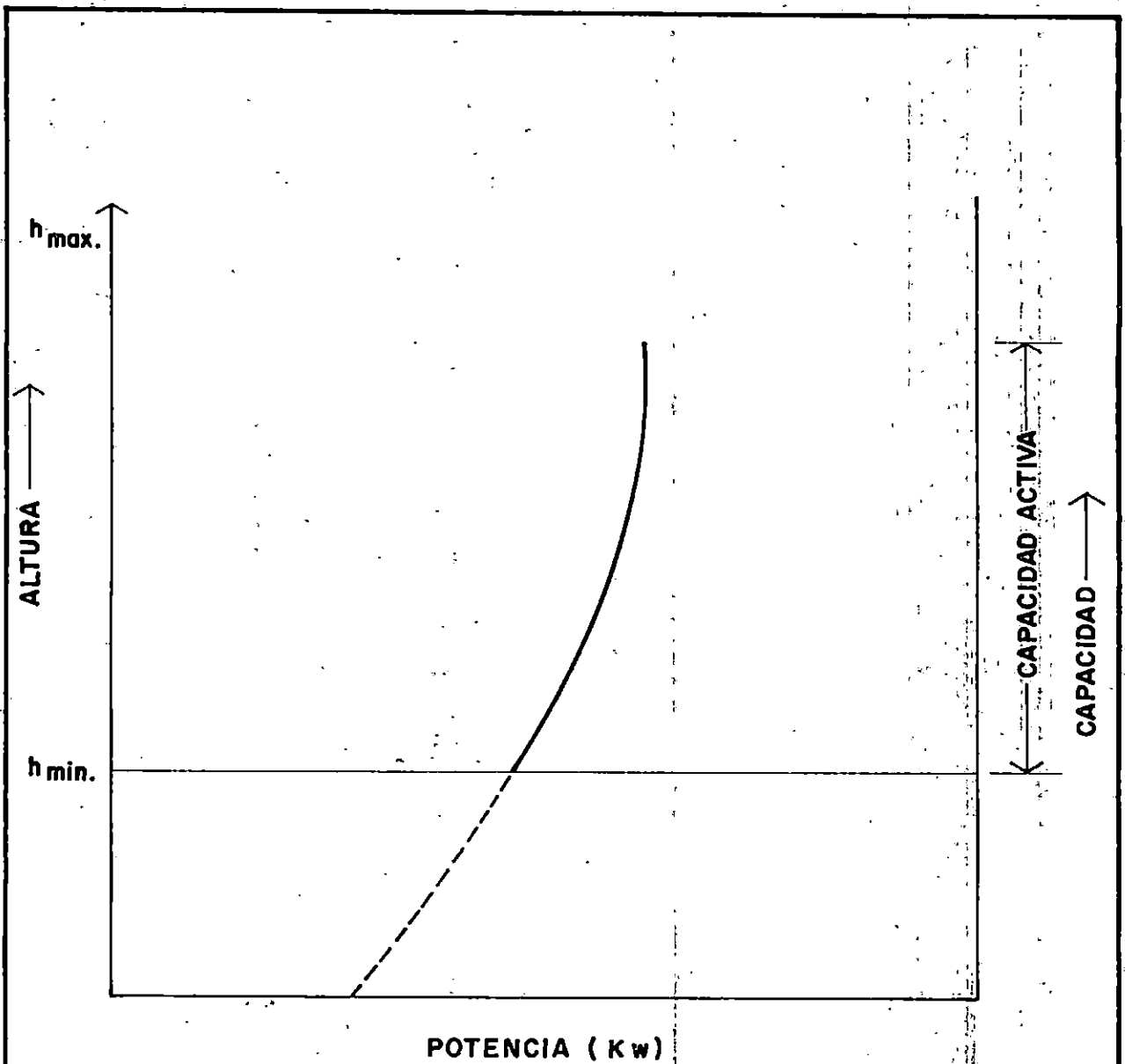


Figura No. 69 POTENCIA DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA EN FUNCION DE LA CAPACIDAD REAL DE SU EMBALSE.

Fuente: "HIDRAULICA FLUVIAL Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS", CIDIAT, mayo de 1988.

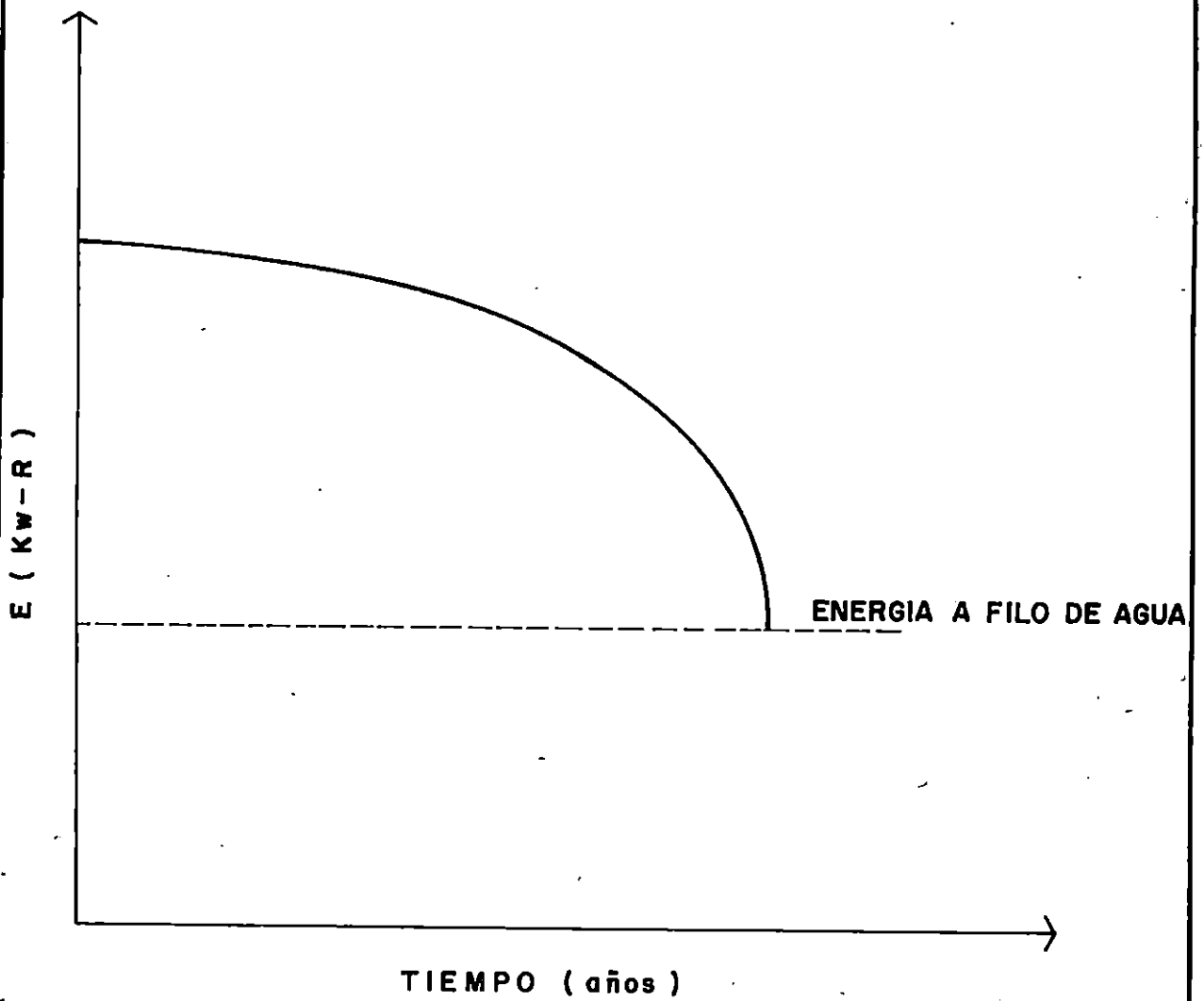


Figura No.70 GENERACION DE ENERGIA DE UNA CENTRAL HIDRO-ELECTRICA CON EMBALSE.

Fuente: "HIDRAULICA FLUVIAL Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS",
CIDIAT, mayo de 1988.

FIGURA No. 71

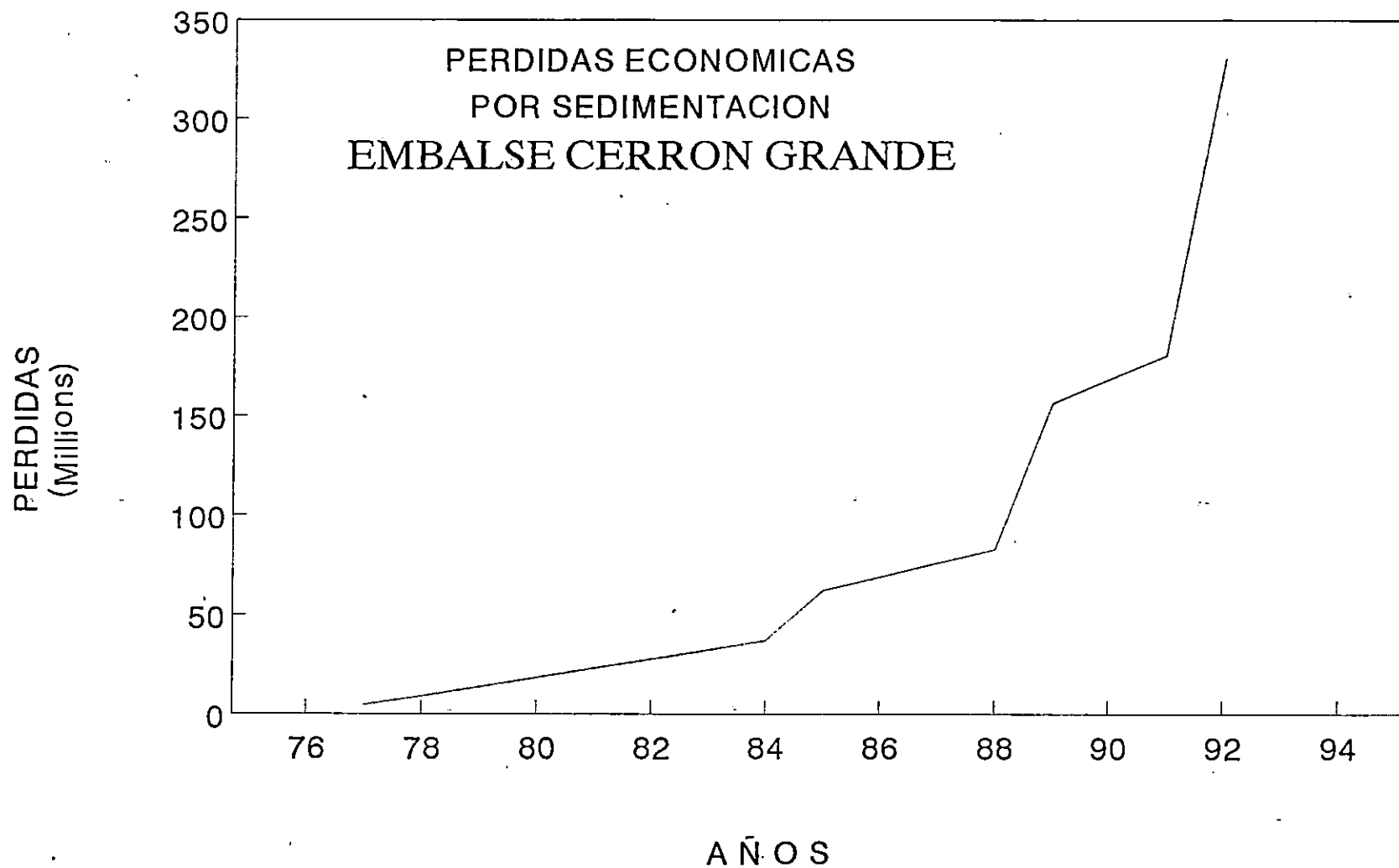


FIG. N°72 . NOMENCLATURA DE DIQUES TRANSVERSALES

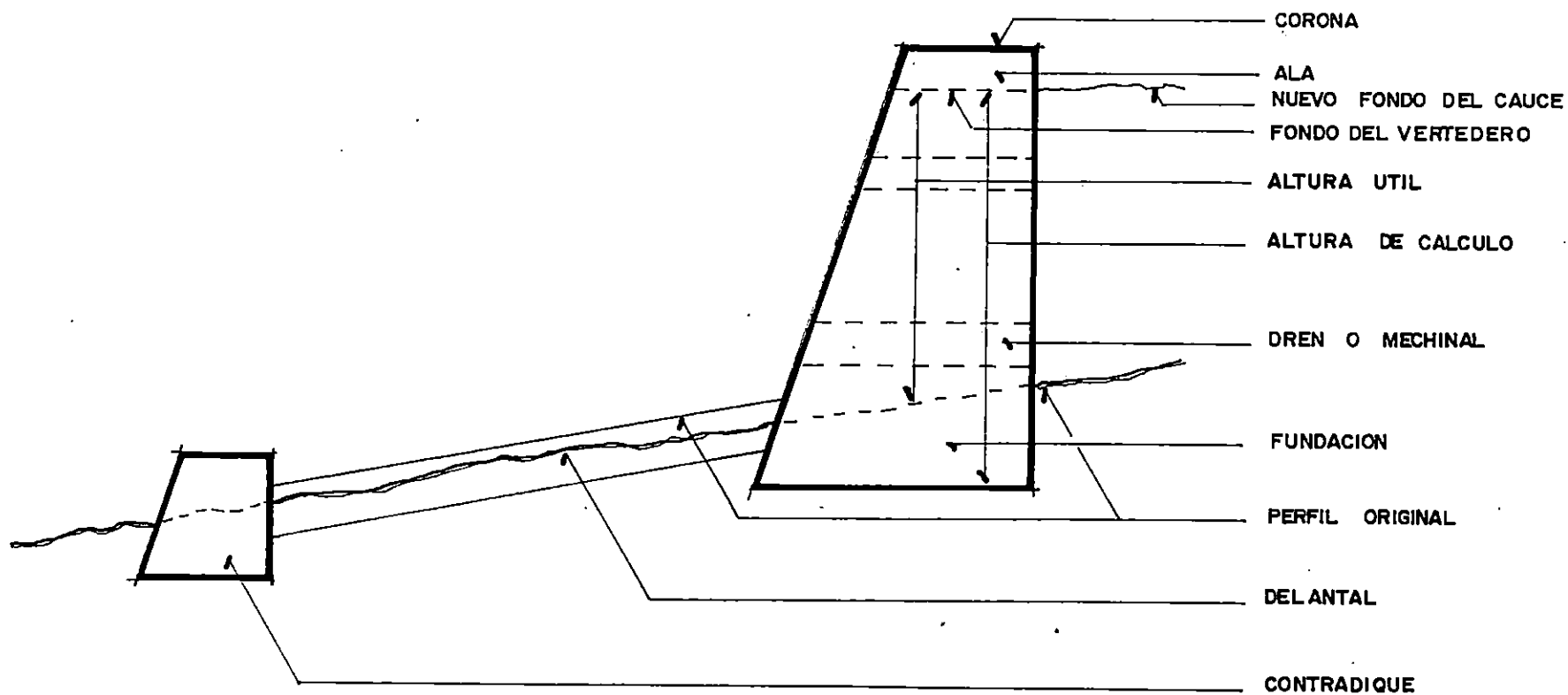


FIG. N°73. ESCALONAMIENTO DE DIQUES

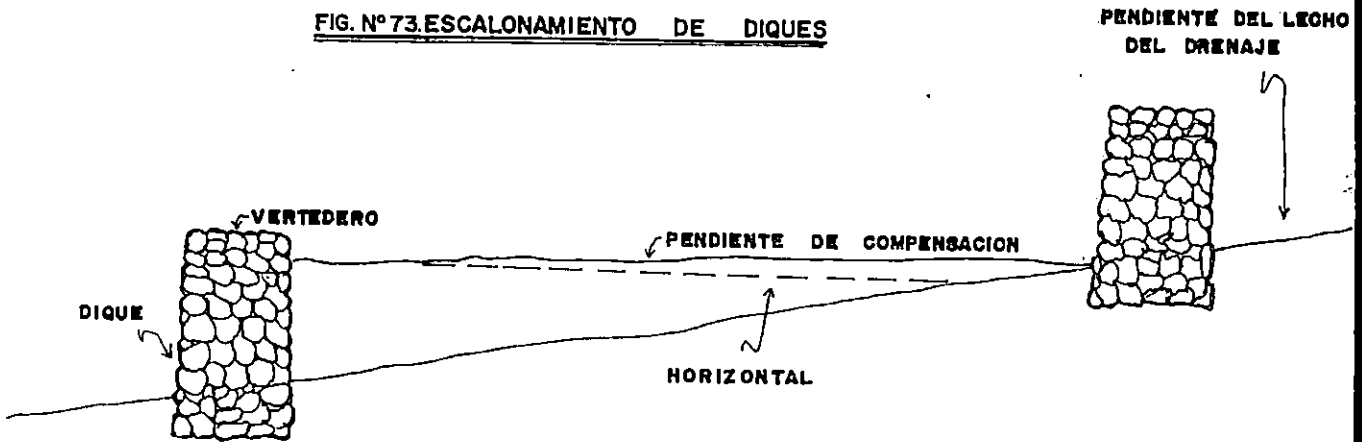
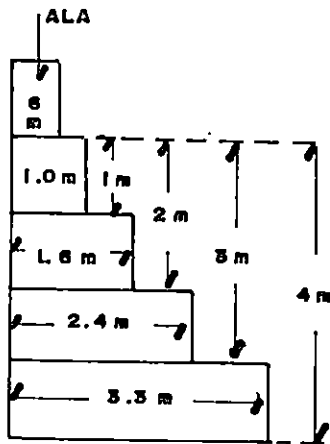


FIG. N°75 DISEÑO Y DIMENSIONES DE DIQUES DE GAVIONES

SECCION



- DIMENSIONES DE DIQUES DE GAVIONES HASTA DE 4 m. DE ALTURA
- LA PROFUNDIDAD DEL VERTEDERO DEPENDE DEL CAUDAL MAXIMO DESTINADO.

UBICACION, EMPOTRAMIENTO Y ALAS DE UN DIQUE DE 4 M. DE ALTURA

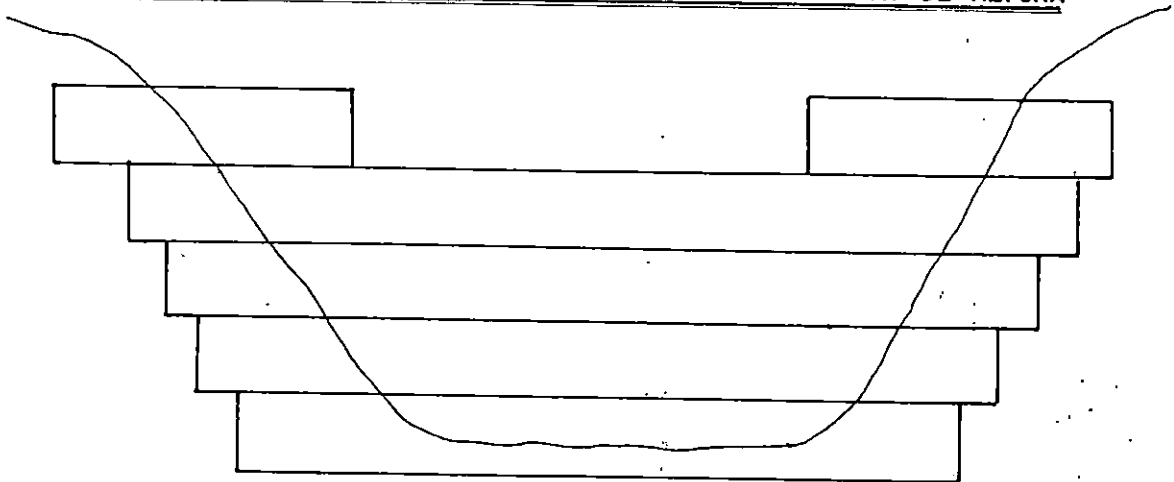
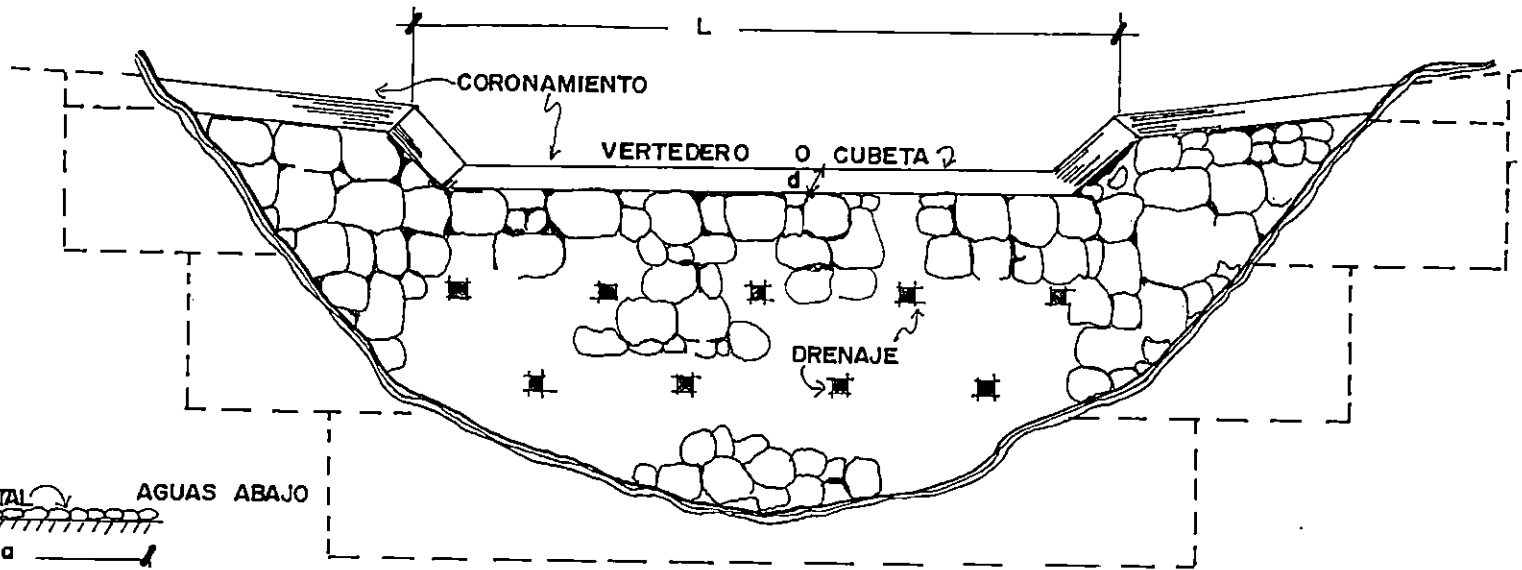
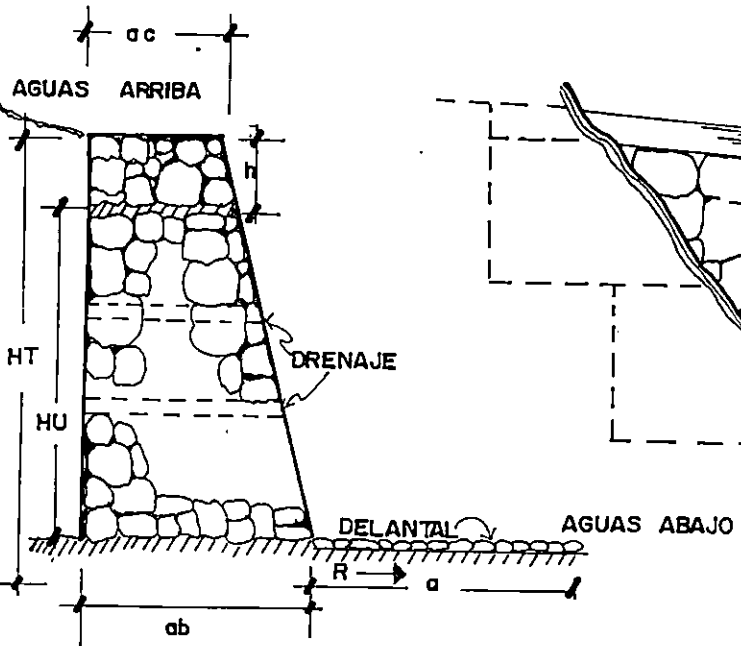


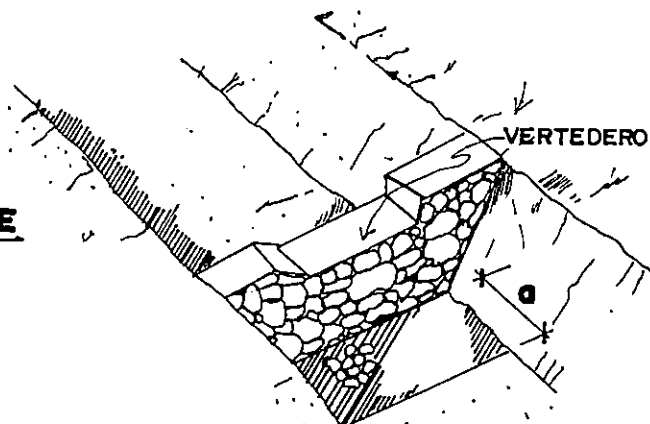
FIGURA N°74. DIQUE TRANSVERSAL DE CONTROL DE DRENAJES Y ESTABILIZACION DE DRENAJES NATURALES (MAMPOSTERIA)

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL

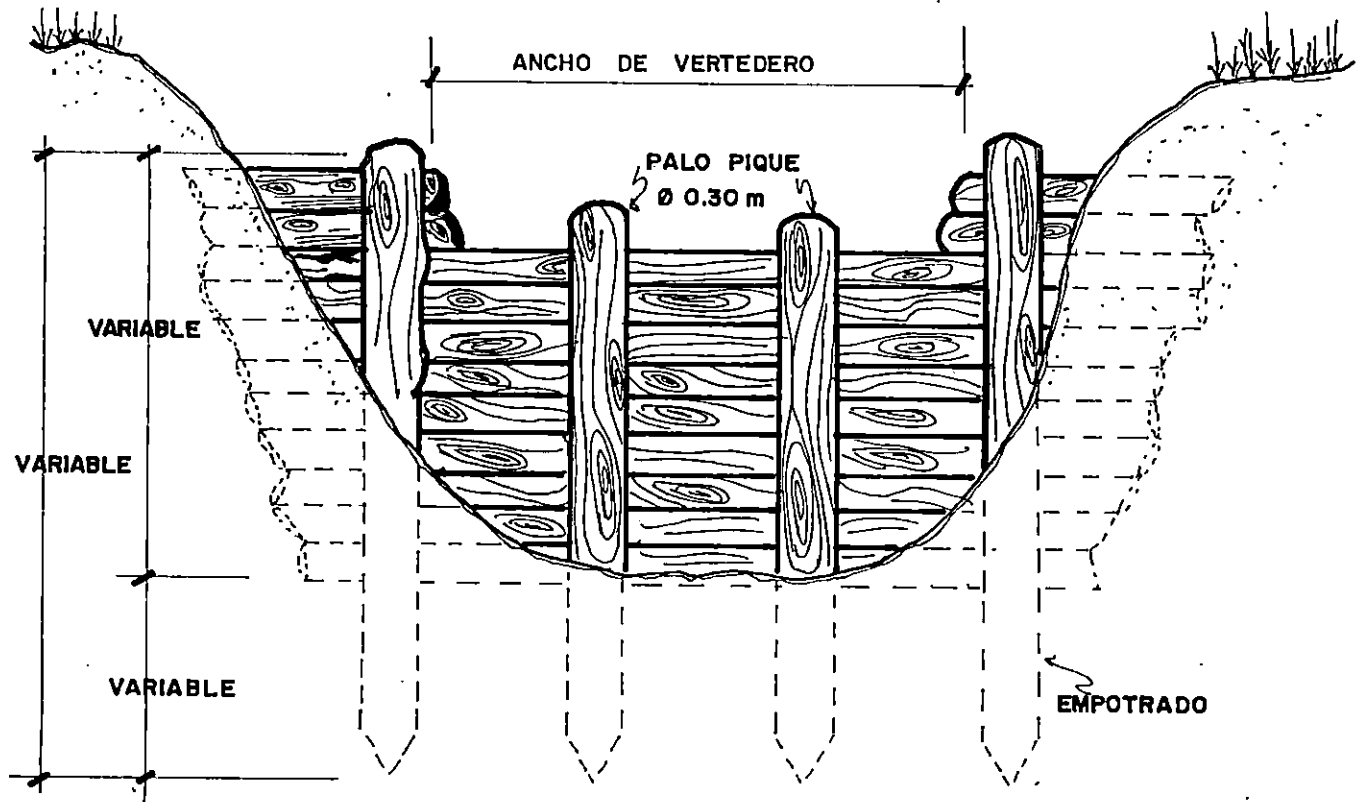
DETALLE DIQUE



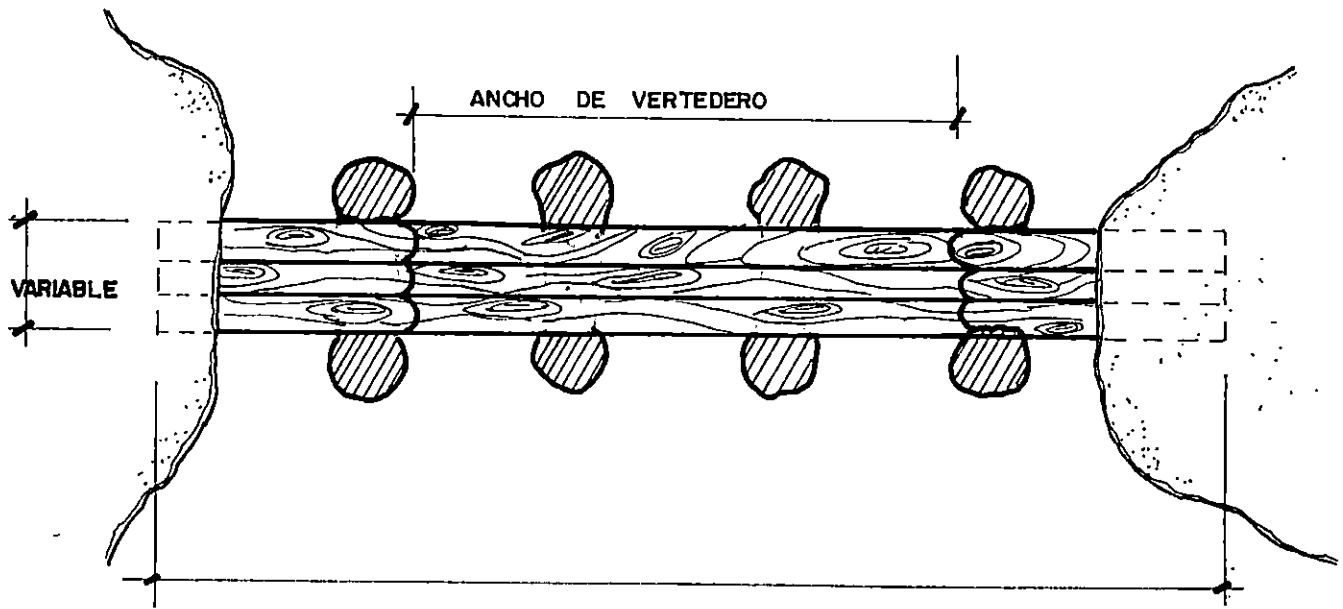
$$a = 1.5H$$

- H = ALTURA TOTAL
- H = ALTURA UTIL
- L = LONGITUD DEL VERTEDERO
- h = ALTURA DEL VERTEDERO
- a = ANCHO DEL DELANTAL
- R = PEDIENTE DEL DELANTAL
- d = ANCHO DEL VERTEDERO
- ac = ANCHO DE CORONA
- ab = ANCHO DE BASE

FIG. N°76. DIQUE DE MADERA (PALO PIQUE)



ELEVACION DE DIQUE



ANCHO VARIABLE

PLANTA DE DIQUE

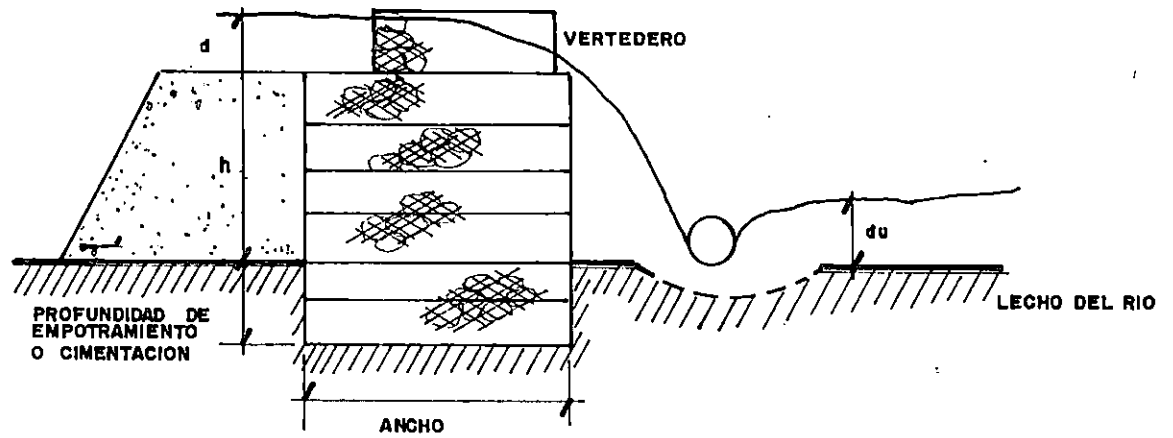


FIGURA N°77 VERTEDERO

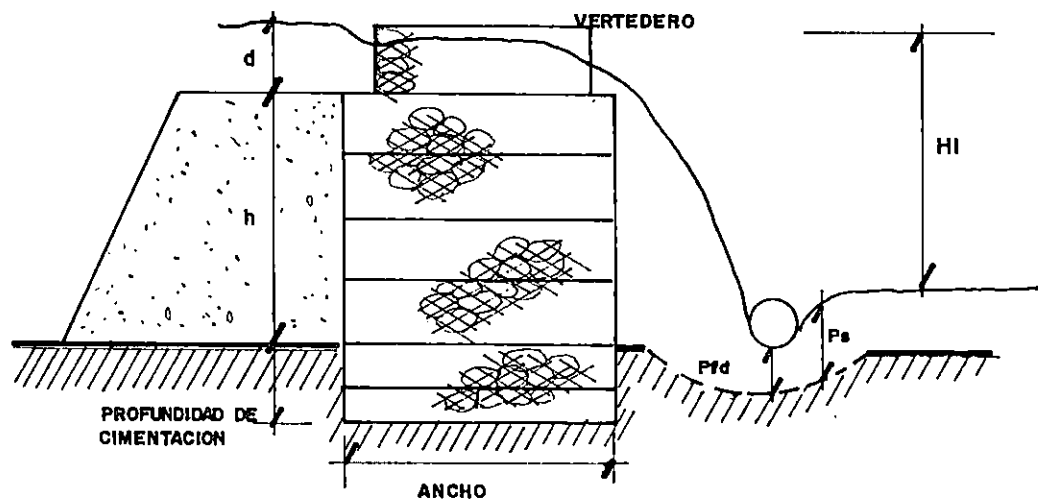


FIG. N°78 PROFUNDIDAD DE SOCAVACION Y FUNDACION AGUAS ABAJO

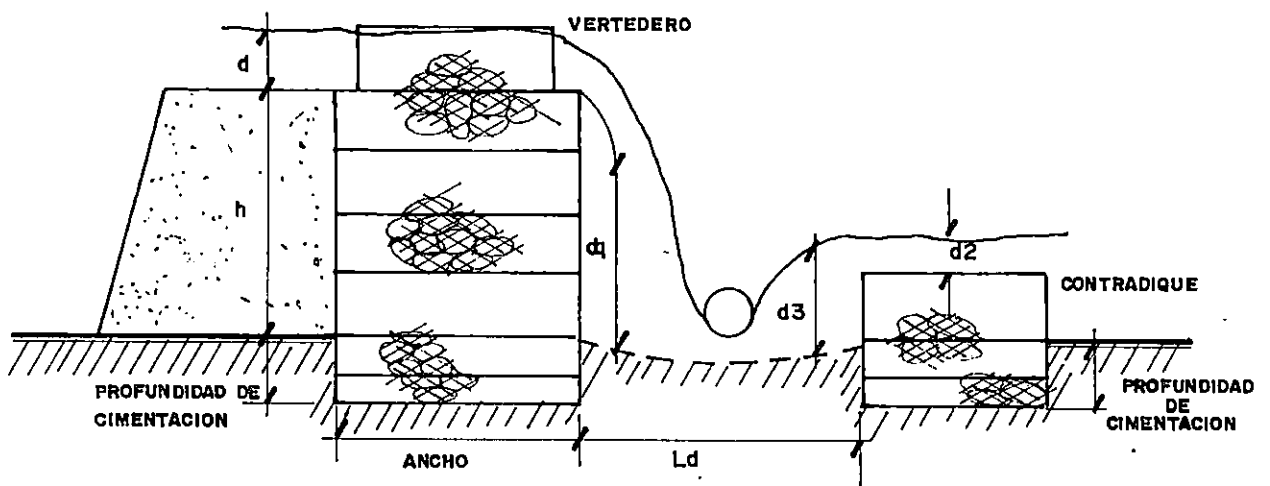


FIG. N°79. VERIFICACION DEL SIFONAMIENTO

MEDIDAS DE LA PIEDRA(cms)	10 - 20	15 - 25	20 - 30
INTERVALO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

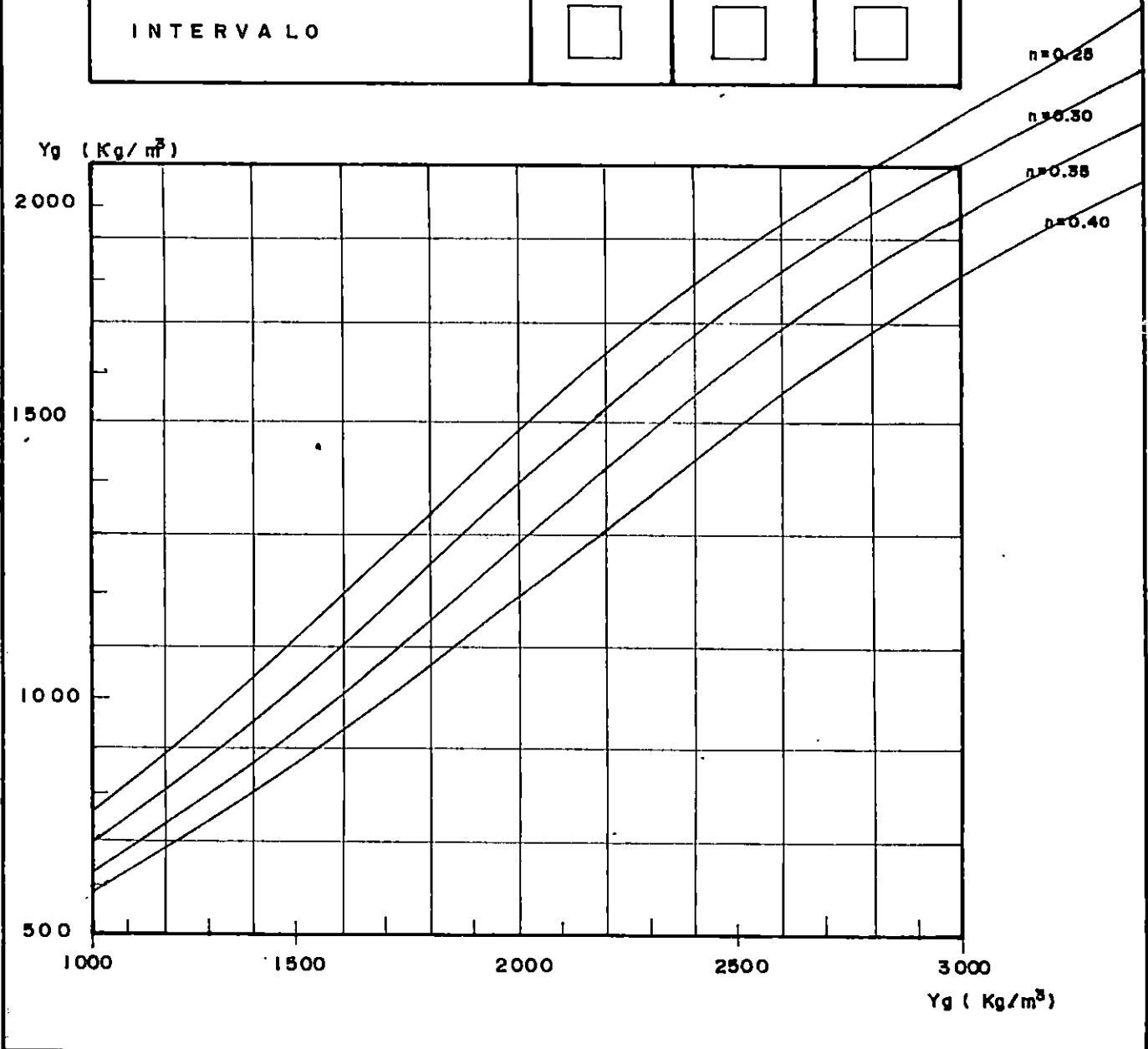


FIG. N°80. RELACION DE PESO ESPECIFICO DE GAVIONES SATURADOS Y SECOS.

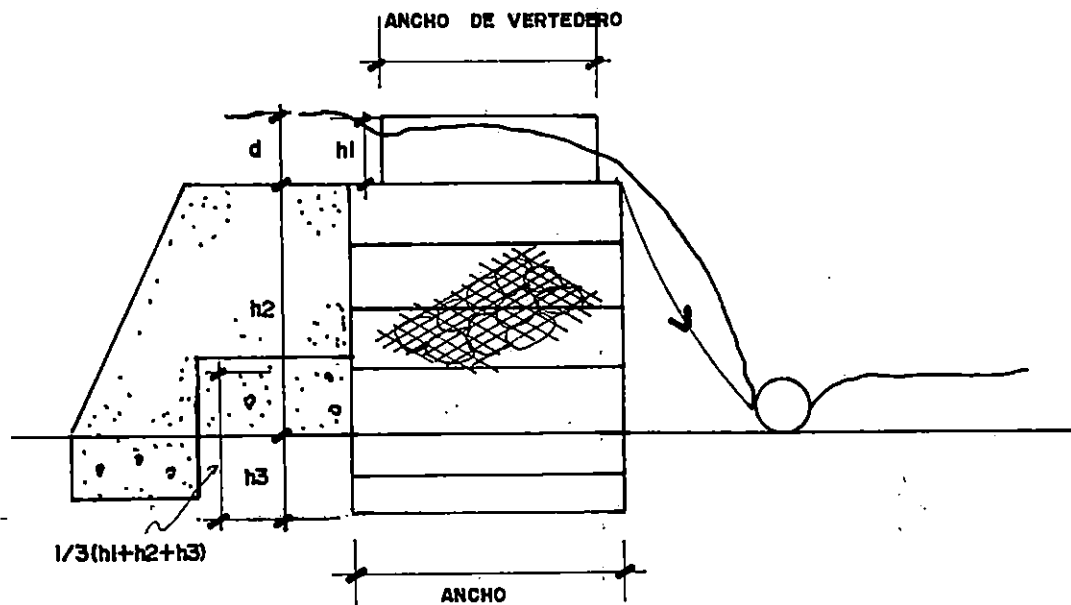


FIG. N° 81. FUERZA HIDROSTATICA SOBRE PARAMENTO, AGUAS ABAJO EHAB

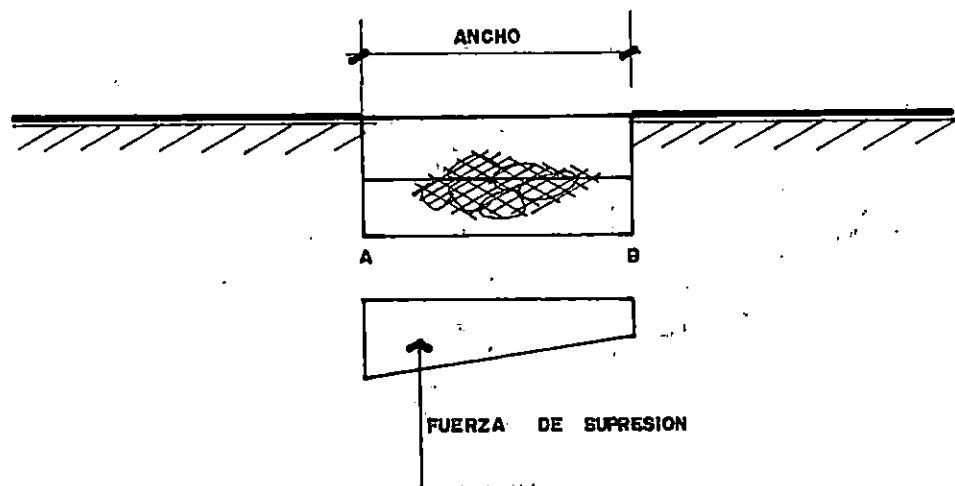
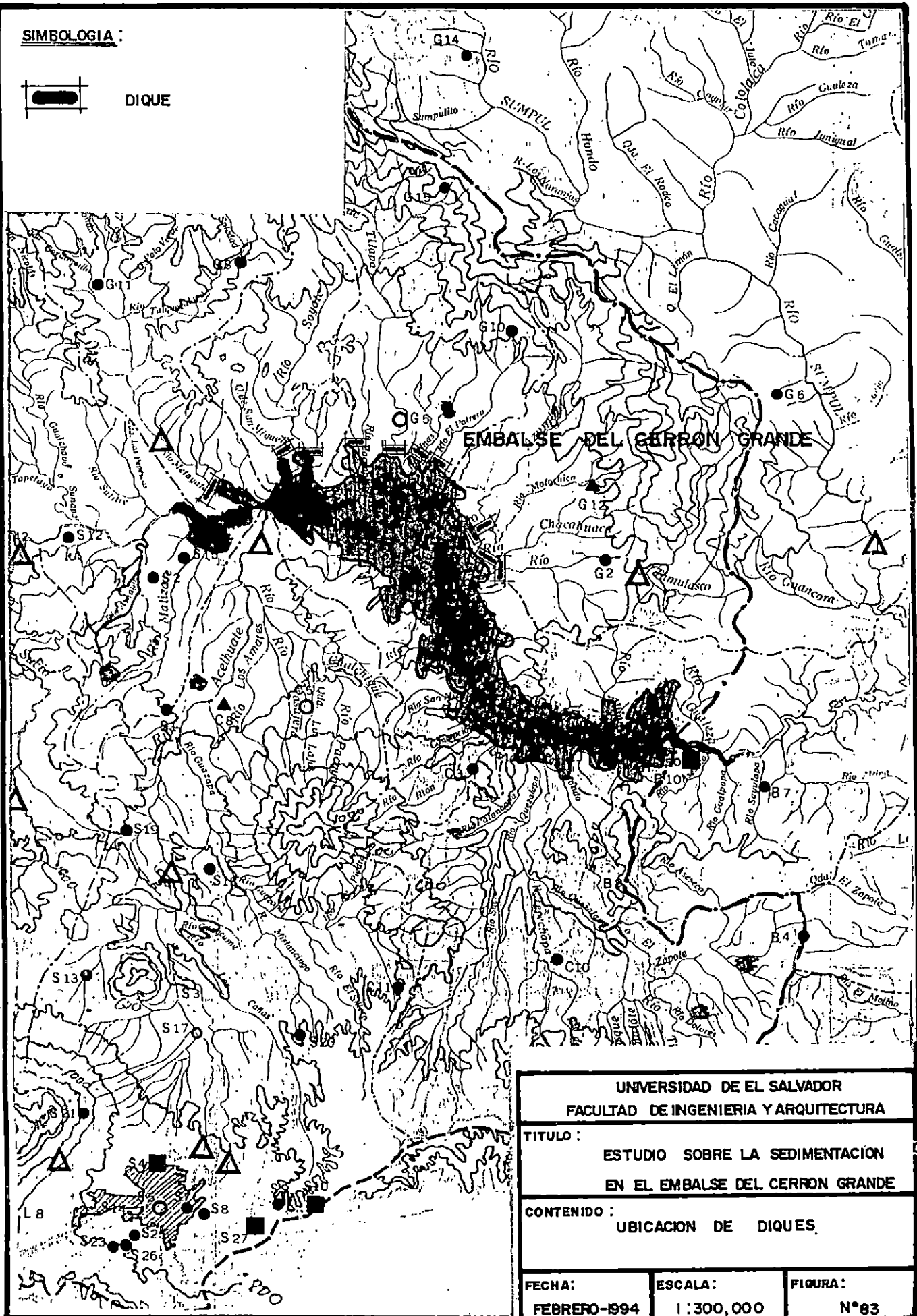


FIGURA N° 82. DIAGRAMA DE PRESIONES EXTREMAS

SIMBOLOGIA:



DIQUE



EMBALSE DEL CERRÓN GRANDE

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

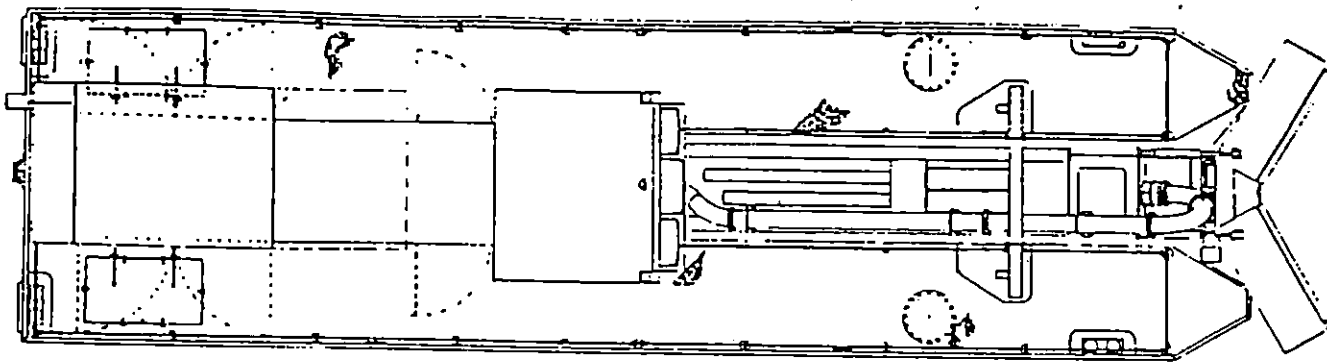
**TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE**

**CONTENIDO :
UBICACION DE DIQUES**

**FECHA:
FEBRERO-1994**

**ESCALA:
1 : 300,000**

**FIGURA:
N°83**



HYDRAULICALLY CONTROLLED
SCAN FEEDER HEAD

ACOUSTIC ENCLOSURE
SURROUNDING ENGINE
AND POWER PACK

CONTROL CABIN

POSITIVE DISPLACEMENT PUMP
SITUATED WITHIN THE DREDGE ARM

PRINCIPAL DIMENSIONS

OVERALL LENGTH	14.50M
OVERALL HEIGHT	3.30M
HULL LENGTH	15.00M
HULL DEPTH	1.55M
MEAN DRAUGHT	0.80M
MAX DREDGE	7.00M

DISCHARGER OUTLET

WATER JET THRUSTER
PROPULSION UNITS
HYDRAULICALLY DRIVEN

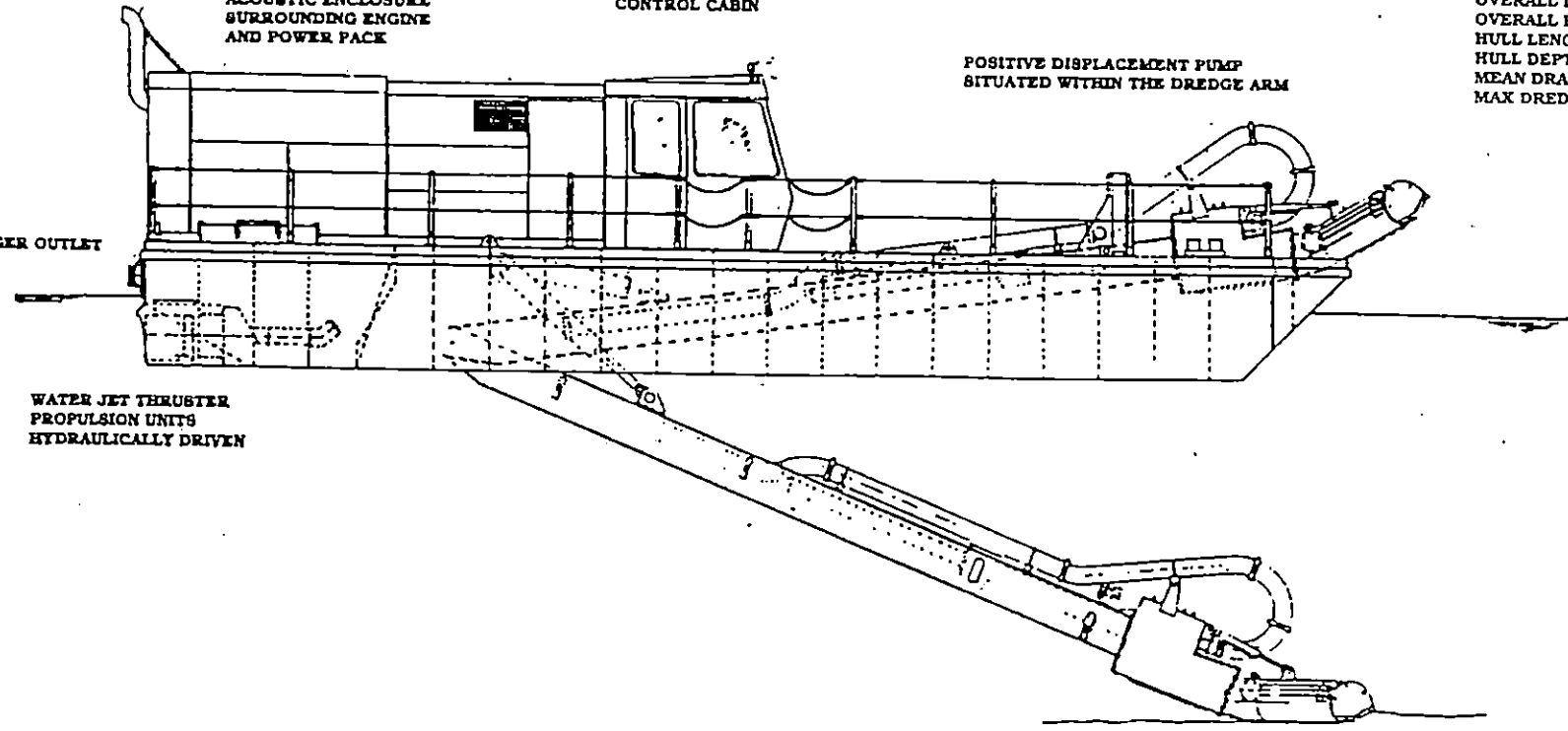
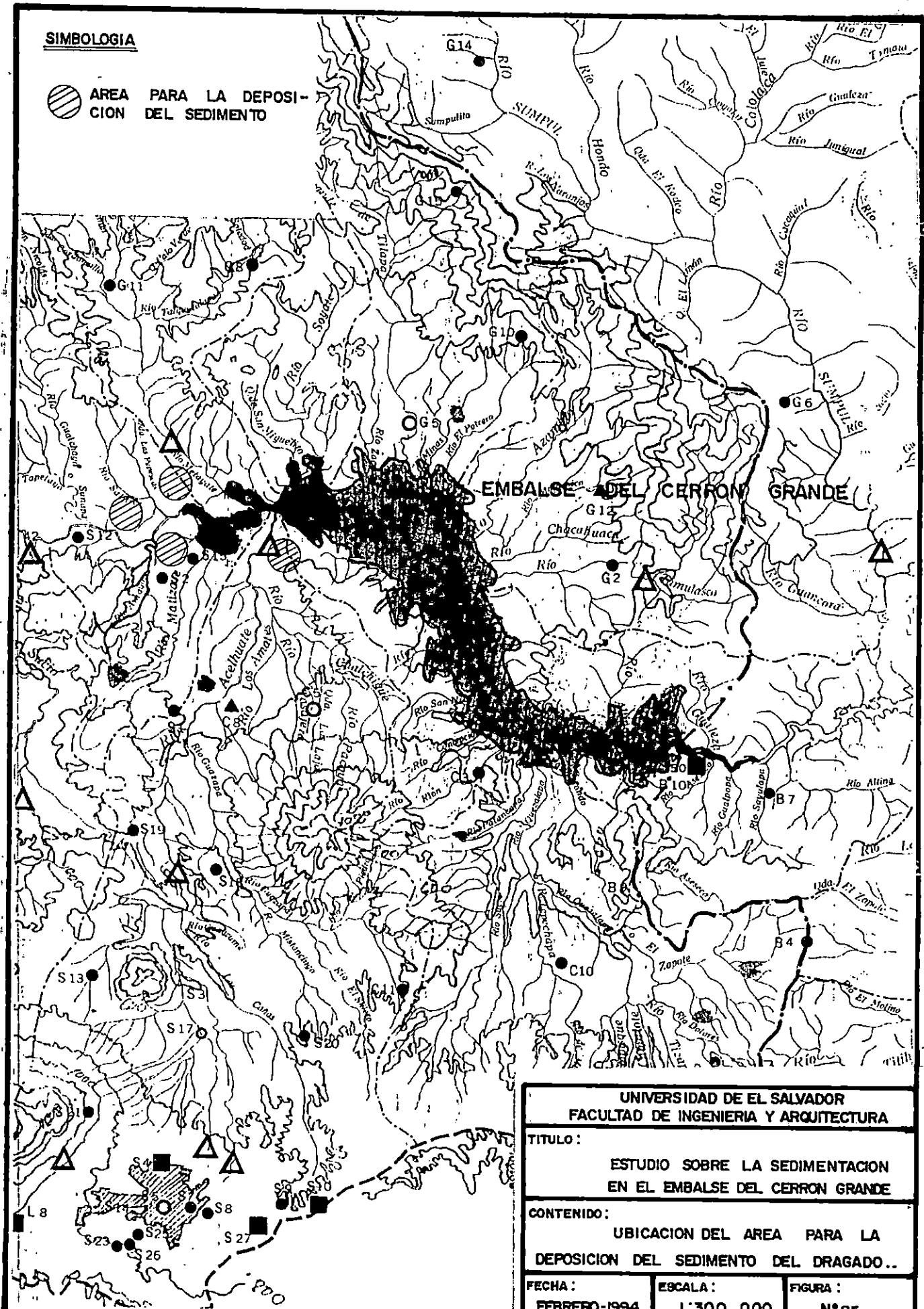


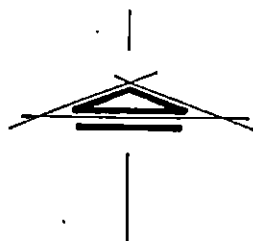
FIGURA N° 84. EQUIPO UTILIZADO EN LABORES DE DRAGADO

SIMBOLOGIA

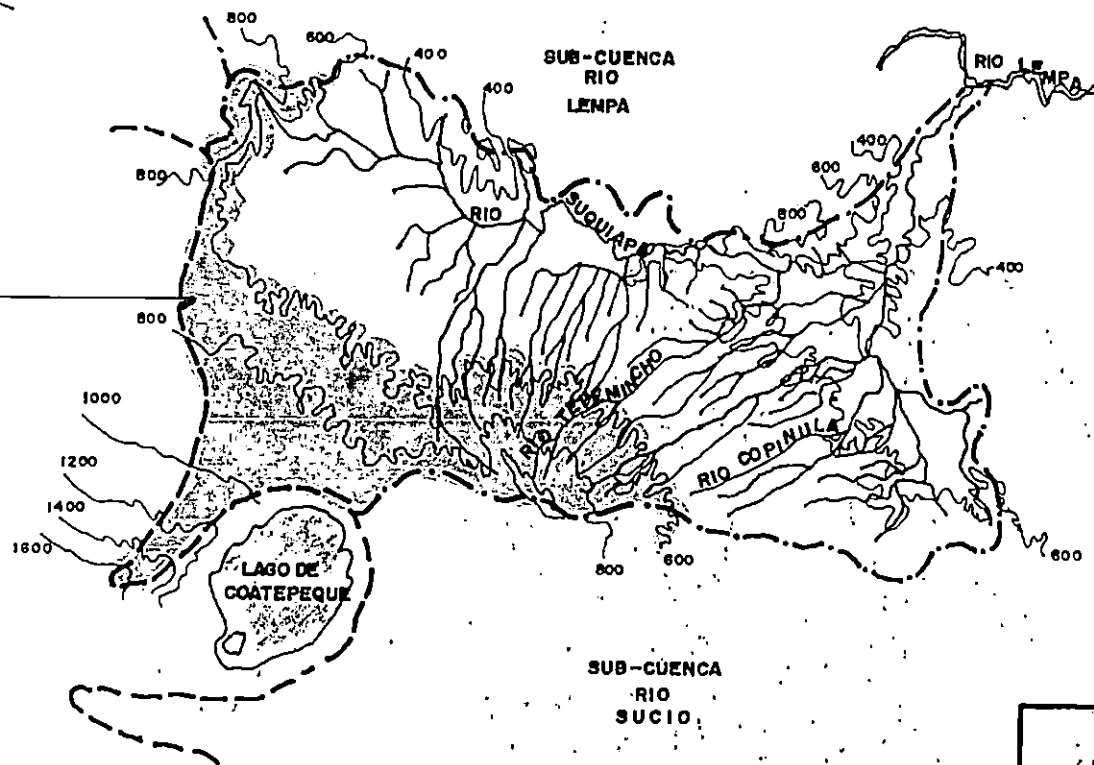
 AREA PARA LA DEPOSICION DEL SEDIMENTO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO:		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE		
CONTENIDO:		
UBICACION DEL AREA PARA LA DEPOSICION DEL SEDIMENTO DEL DRAGADO..		
FECHA:	ESCALA:	FIGURA:
FEBRERO-1994	1:300,000	N°85



AREA A
REFORESTAR



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

--- RIOS, QUEBRADAS

--- LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

--- CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO:

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

CONTENIDO:

AREA A REFORESTAR EN
SUB-CUENCA RIO SUQUIAPA

FECHA:

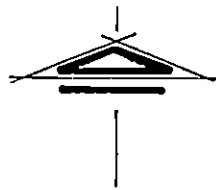
FEBRERO -84

ESCALA:

1:300,000

FIGURA:

Nº 87



SUB-CUENCA
RIO
SUCIO

SUB-CUENCA
RIO
SUCIO

SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

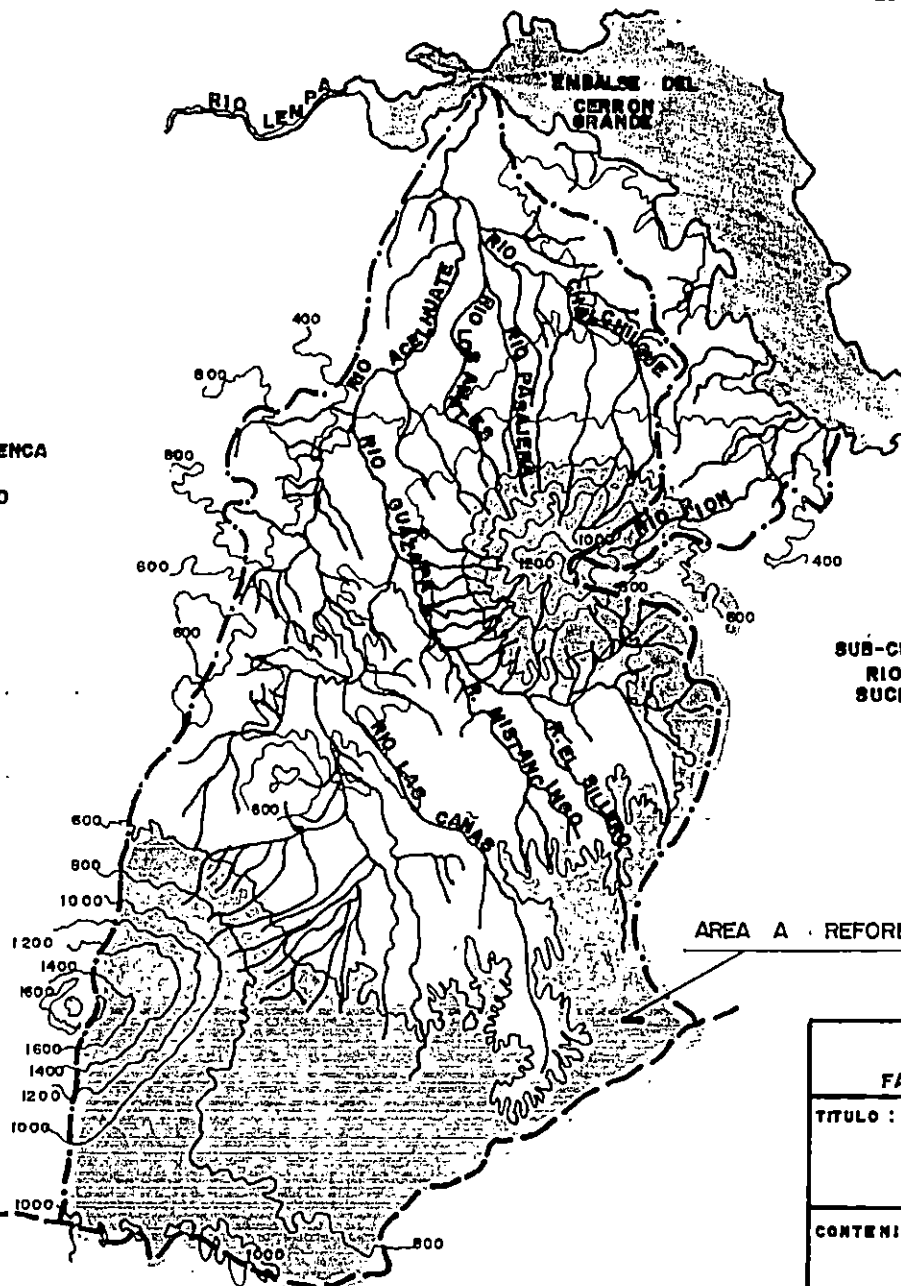
- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

◊ LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

— CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.



AREA A REFORESTAR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :

ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE

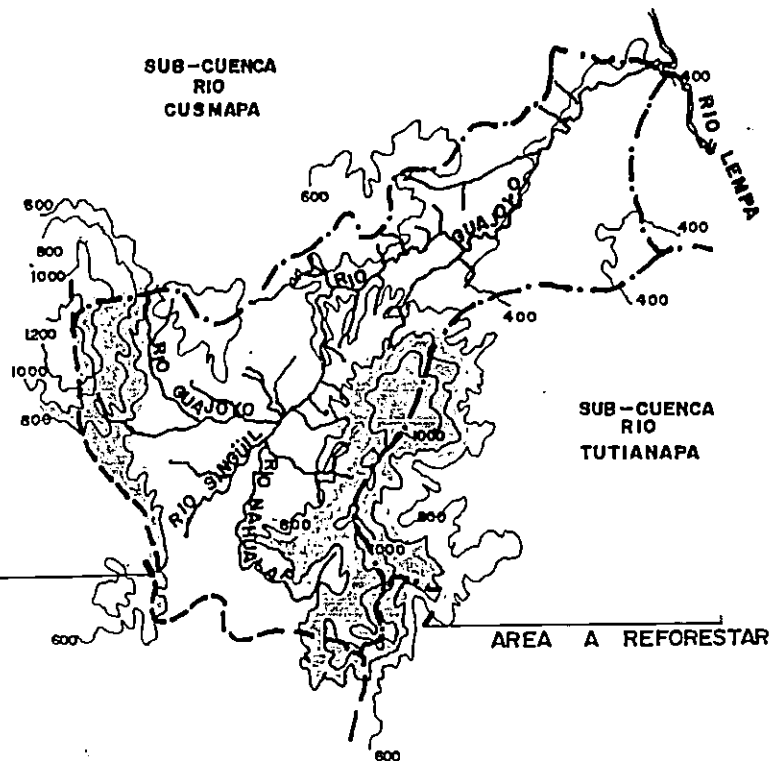
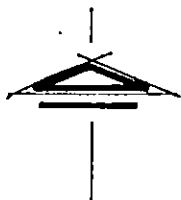
CONTENIDO :

AREA A REFORESTAR EN
SUB-CUENCA RIO ACELHUATE

FECHA :
FEBRERO-94

ESCALA :
1 : 300,000

FIGURA :
N°88



SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

~ LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~100 CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

AREA A REFORESTAR

AREA A REFORESTAR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO :
AREA A REFORESTAR EN
SUB-CUENCA RIO GUAJOYO

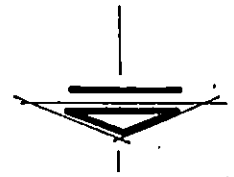
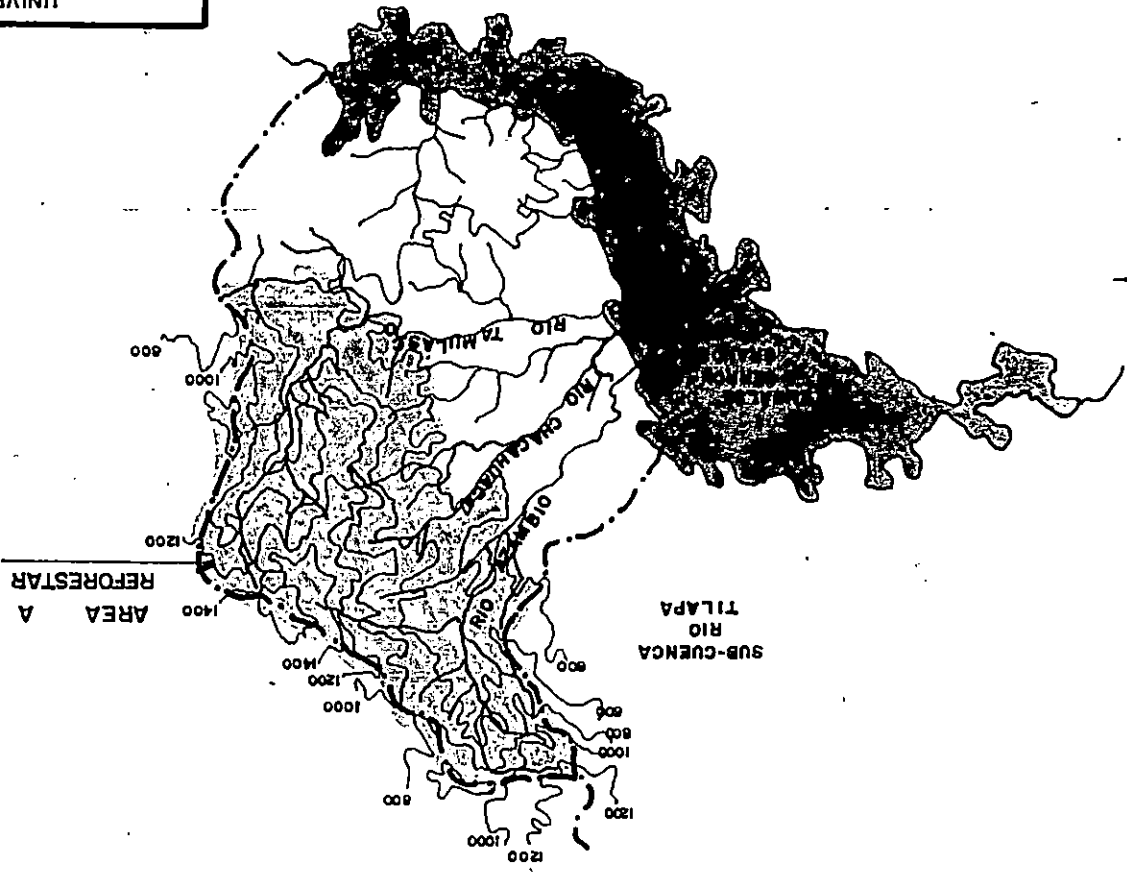
FECHA :
FEBRERO-1994

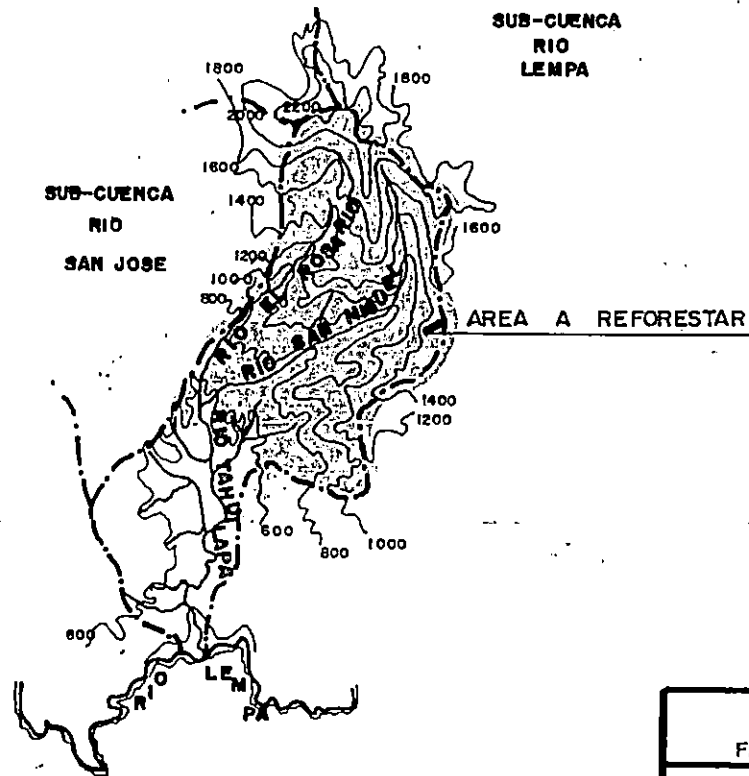
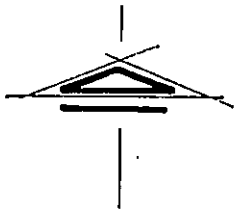
ESCALA :
1:300,000

FIGURA :
N° 89

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	TITULO:	ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.
		CONTENIDO:	AREA A REFORESTAR EN SUB-CUENCA RIO TANULASCO
FECHA:	ESCALA:	FIGURA:	Nº 90
FEBRERO - 1994	1:300,000		

SIMBOLOGIA	
--- DIVISION DE LA CUENCA EN ESTUDIO	
--- DIVISION DE LAS SUB-CUENCAS	
--- RIOS, QUEBRADAS	
--- LAGOS, LAUNAS Y EMBALSES	
--- LOS CURVAS DE NIVEL	
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	





SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

- - - DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ ~ RIOS, QUEBRADAS

~ ~ LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~ ~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

CONTENIDO :
AREA A REFORESTAR EN
SUB-CUENCA RIO TAHUILAPA

FECHA :
FEBRERO 1994

ESCALA :
1:300,000.

FIGURA :
Nº 91

SIMBOLOGIA

--- DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO

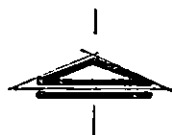
--- DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS

~ RIOS, QUEBRADAS

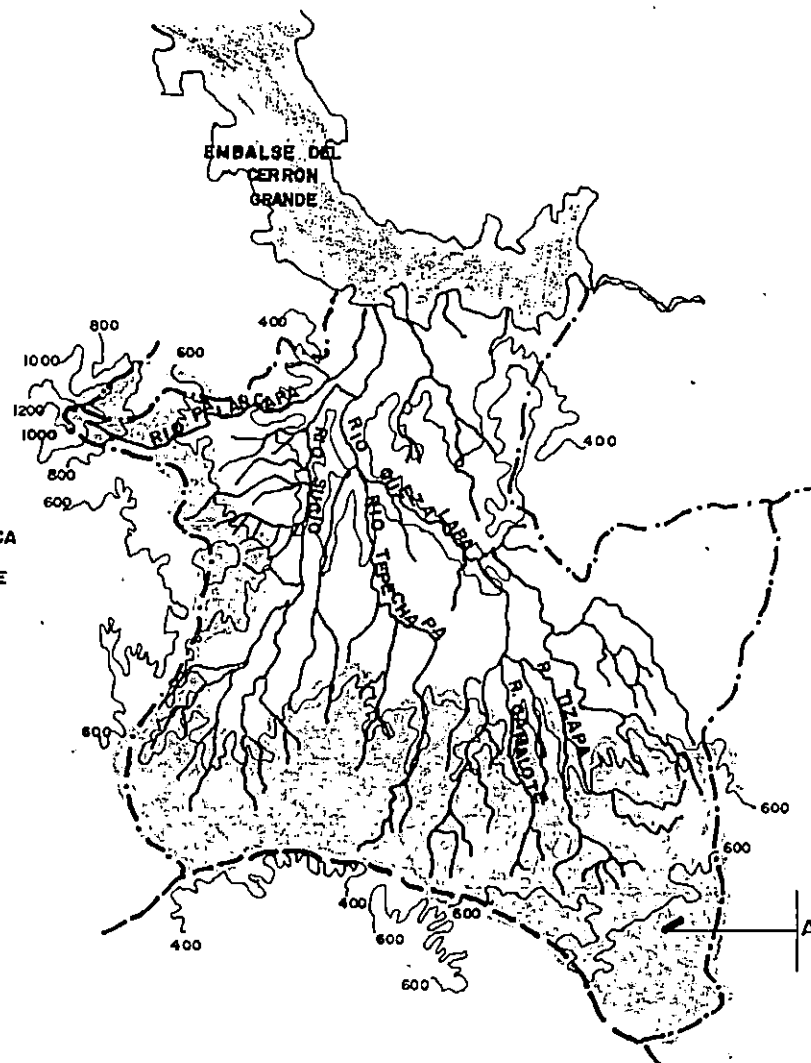
LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES

~100~ CURVAS DE NIVEL

INTERVALO DE CURVA 200 MTS.



SUB-CUENCA RÍO ACELHUATE



ÁREA A REFORESTAR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TITULO :
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION
EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE.

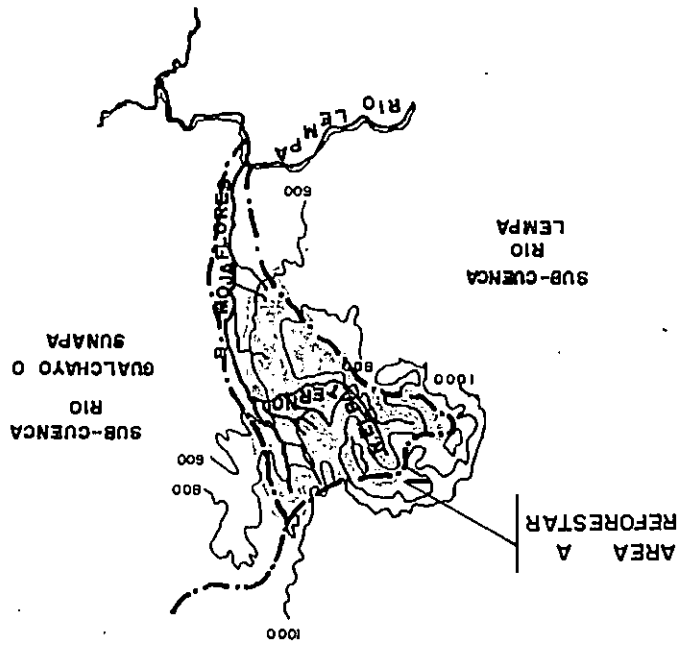
CONTENIDO :
AREA A REFORESTAR EN
SUB-CUENCA RIO QUEZALAPA

FECHA :
FEBRERO -1994

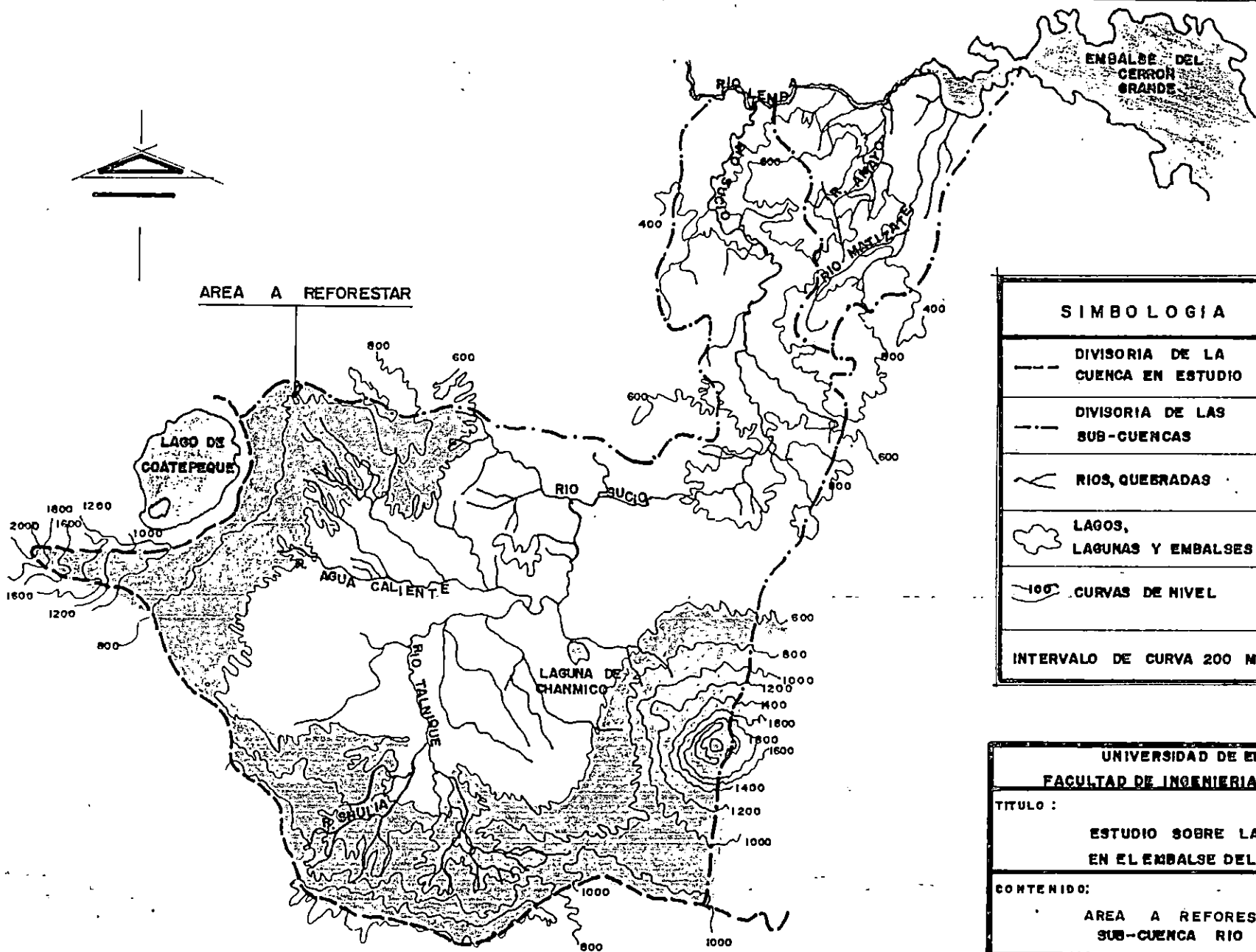
ESCALA :
1:300,000

FIGURA :
N° 92

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	TITULO:
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL GERON GRANDE.		
CONTENIDO:		
AREA A REFORESTAR EN SUB-CUENCA RIO MOJAFLORES		
FECHA:	ESCALA:	FIGURA:
FEBRERO - 1994	1:300,000	N. 93



SIMBOLOGIA	
---	DIVISION DE LA CUENCA EN ESTUDIO
---	DIVISION DE LAS SUB-CUENCAS
~	RIOS, QUEBRADAS
○	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
~	CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	



SIMBOLOGIA	
	DIVISORIA DE LA CUENCA EN ESTUDIO
	DIVISORIA DE LAS SUB-CUENCAS
	RIOS, QUEBRADAS
	LAGOS, LAGUNAS Y EMBALSES
	100 CURVAS DE NIVEL
INTERVALO DE CURVA 200 MTS.	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		
TITULO:		
ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE		
CONTENIDO:		
AREA A REFORESTAR EN SUB-CUENCA RIO SUCIO		
FECHA:	ESCALA:	FIGURA:
FEBRERO-94	1:300,000	N° 94

C U A D R O S

CUADRO N° 1
TIPOS DE SUELOS

UNIDAD DE MAPA	NOMBRE	FISIOGRAFIA	DESCRIPCION.
-1	Aluvial y Regosol	<p>Planicies costeras y valles aluviales y pendientes de pie de monte adyacentes de origen reciente, sin disección, con pendientes a nivel a ligeramente inclinadas, con estratos inferiores de moderadamente profundos a muy profundos de materiales no consolidados.</p> <p>Existen algunas áreas muy pobremente drenadas.</p>	<p>Por lo general, son suelos de texturas arenosas a arcillosas, suelos ligeramente moderados ácidos, de colores oscuros y con moderación de contenidos de materia orgánica; sobre estratos de materiales finos arenosos y gravillosos.</p> <p>Los suelos son en su mayoría de moderadamente profundos a profundos sobre materiales gruesos o talpetate, existen algunas pequeñas áreas de suelos arcillosos y arenosos. La productividad de estos suelos es de alta a muy alta.</p>
-2	Aluvial y Grumosol.	<p>Cuencas y valles casi a nivel, sin disección, sobre estratos profundos de materiales finos no consolidados y de origen reciente. El drenaje natural es pobre y en áreas localizadas es muy pobre. Estos terrenos tienen grave peligro de inundación. El problema de drenaje ha sido mejorado en algunas áreas por medio de canales.</p>	<p>En su mayoría son de color negro, arcilloso. Plásticos, pegajosos y de permeabilidad muy lenta. En la época seca cuando pierden humedad se contraen y se rajan. Los estratos inferiores son también arcillosos. El contenido de materia orgánica es moderado; la reacción es de neutra a ligeramente ácida. Áreas limitadas de suelos francos y más permeables se encuentran en algunos sitios cercados a los ríos.</p>
-3	Regosol y Ando (Latosoles Forestales Pardos) ondulados a accidentados.	<p>Pie de montes, faldas bajas y terrenos elevados con pendientes suaves a moderadas, con ligera a moderada disección y predominante el relieve bajo. Algunas áreas en los terrenos elevados están localmente con una disección moderadamente profunda, por valles estrechos de paredes escarpadas. La topografía predominante es de ligeramente ondulada o ondulada. Algunas áreas son incluídas. Las formaciones inferiores son principalmente estratos de cenizas volcánicas no consolidadas de texturas</p>	<p>Francos y franco arenosos, permeables, y muy profundos, con muy poca diferenciación en el perfil, aparte de la acumulación de la materia orgánica. Los horizontes superiores son negros y porosos; varían desde 10 a 75 cms. en su espesor. El contenido de materia orgánica llega a veces hasta el 15%. Los subsuelos varían en color desde el blanco o el gris claro hasta el pardo amarillo, dependiendo el tipo de material madre. La productividad inherente es muy alta. Hay intrusiones de suelos poco profundos y pedregosos.</p>

-4

Ando (Latosoles Forestales Pardos ondulados a accidentados).

Planicie de pie de monte suavemente inclinadas biendrenadas con capas inferiores compuestas por estratos de cenizas volcánicas básicas y otros piroclásticos.

La disección varía generalmente de ligera a moderada; ocasionalmente es fuerte. El relieve es de bajo a moderado, la topografía en sus extremos varía de casi a nivel a fuertemente alomada, la dominante varía de ligeramente ondulada a ondulada.

Los suelos son débilmente desarrollados hasta fuertemente desarrollados. Ellos ocurren tanto en forma compleja como indiferencia. La mayoría de los tipos no tienen piedras. Los horizontes superiores son moderadamente gruesa de ligera a moderadamente ácidos, con colores oscuros, francos a franco arcillosos, buenos para la labranza. Los subsuelos fluctúan desde francos finos, pardos en bloques débiles hasta hasta arcillosos, pardo rojizos, en bloques fuertes. Son mayormente Litosoles o Regosoles a lo largo de los cursos de drenaje más escarpados y suelos aluviales locales.

-5

Regosol y Ando (Latosoles Forestales Pardos y arcillosos - Rojizos). accidentes a montañosos.

Montañas volcánicas y tierra alta fuertemente diseccionadas de moderado a alto relieve. La topografía predominante es alomada o montañosa: a lo largo de los cursos de drenaje precipitados, ellas es muy quebrada. Las formaciones inferiores son principalmente cenizas volcánicas no consolidadas de texturas medianas a gruesas con intrusiones de corriente de lava y a mayores profundidades. Gruesos mantos de materiales piroclásticos consolidados.

Igual a la unidad 3 con algunas semejanzas de la unidad 6 pero con un mayor porcentaje de horizontes superiores de menor espesor y con más inclusiones de suelos poco profundos, pedregosos y de otras clases. La productividad inherente es de moderadamente alta.

-6

Ando (Latosoles Arcillosos Rojizos). ondulados a fuertemente accidentados.

Terrenos elevados, terrazas y faldas bajas de ligeramente onduladas a accidentadas y fuertemente diseccionadas, con formaciones inferiores de espesos estratos de materiales finos piroclásticos no consolidados y usualmente sin piedras, con inclusiones de corrientes de lava del período Pleistoceno. Se encuentran algunas pendientes fuertes a muy fuertes y afloramientos rocosos, a lo largo de los cursos de drenaje más profundos.

Los suelos son principalmente profundos y fuertemente desarrollados. Son derivados de cenizas volcánicas no consolidadas y de otros materiales relacionados. Ellos tienen horizontes superiores franco arcillosos, pardos muy oscuros, granulares, friables y de ligera a moderadamente ácidos y de espesor moderado sobre suelos arcillosos, de pardos o pardo rojizos a pardos oscuros o pardo rojizos oscuros de estructura fuerte en bloques con membranas prominentes de arcilla. Los sub-estratos son -

-7 Regosol y Litosol.

Terrenos elevados, moderada a fuertemente disecionados no diferenciados, topografía ondulada a fuertemente alomada; con forma ción inferior cimentada de todas pomicíticas blancas no completamente cubiertas por cenizas blancas volcánicas no consolidadas. Se encuentran intrusiones intercaladas de corrientes de lavas oscuras. En forma esparcida, pequeños conos volcánicos se elevan sobre el nivel general del paisaje.

-8 Ando Lato-
soles Arci-
llosos Rojizos) y Lito-
soles; ondu-
lados a ac-
cidentados.

Tierras disecionadas de topografía de ligeramente ondulada a alomadas, con algunas inclusiones de cuencas y valles en la zona baja caliente. Las informaciones inferiores son predominantes de lavas máficas y materiales piroclásticos pedregosos cimentados. Hay acumulaciones de residuos intemperizados en las pendientes bajas y en los valles y cuencas. Algunas pendientes muy fuertes a escarpadas ocurren a lo largo de los cursos de drenajes más profundos.

cenizas volcánicas, francas o franco arcillosas, pardos amarillentas y en algunos casos son cenizas y pomez blancos de texturas francas o franco gravillosas. En las arenas disecionadas y precipitadas las solas son poco profundas o predominan los Rogosoles. Inclusiones de suelos pedregosos ocurren

Los suelos fluctúan desde afloramientos de tobas duras hasta aquellos desarrollados en gruesos depósitos de ceniza blanca permeable, Predominantemente ellos están desarrollados en depósitos de cenizas fluctuando de 30 a 450 cm. en espesor. Los horizontes superiores a moderadamente gruesos, francos y franco arenosos, porosos, friables, pardo grisáceos, muy oscuros a negros, que cambian a través de un delgado horizonte de transición a la ceniza pomicítica blanca, porosa, franca arena francosa. Donde existe erosión acelerada el horizonte superior puede estar ausente.

Limitada intrusiones de Ando Lato-
soles Arcilloso oscuras, pueden encontrarse.

Los suelos principales son moderadamente profundos a profundos y ligeramente a moderadamente pedregosos. Algunos son superficiales y algunos son muy pedregosos. Los horizontes superiores son pardos muy oscuros, ligera a moderadamente ácidos franco arcillosos y arcillosos. de variable pedregosidad. Los subsuelos, están por lo general, fuertemente desarrollados son pardos o pardos rojizos al pardo oscuros, arcillosos de variable pedregosidad.

Están mezcladas con roca madre parcialmente intemperizada a profundidades de 75 cm. a 2 m o más. En algunas áreas el suelo es muy delgado o está ausente. son deficientes en nitrógeno o fósforo.

El contenido de materia orgánica varía de moderado a bajo. La productividad es moderada.

-9 Ando (Latosoles Arcillosos Rojizos y Forestales Pardos). y Litosoles; ondulado a fuertemente accidentados.

Áreas montañosas, fuertemente diseccionadas de la zona intermedia y altas -- compuestas de cimas onduladas a alomadas asociadas -- con faldas empinadas. Con estratos inferiores más o menos intemperizados de -- formaciones piroclásticas máficas y lavas de la época del pleistoceno y del terciario.

Existe un complejo de suelos profundos, moderadamente profundos y superficiales con pedregosidad variable. Los mejores suelos, tienen horizontes superficiales oscuros, friales, francos, son relativamente altos en contenido de material orgánico. El subsuelo es franco de color gris rojizo a parduzco, en bloques débiles a fuertes sobre materiales volcánicos interperalizados. Los suelos más pobres varían desde afloramiento rocoso hasta con intemperización profunda o formaciones volcánicas de materiales sueltos con horizontes superficial de delgado a grueso y a veces con subsuelo ligeramente intemperizado. Predominante los suelos son moderadamente ácidos y algunos pueden ser fuertemente ácidos. tienen una saturación de bases de media a alta. La fertilidad es de baja a moderada.

10 Litosol y Regosol

Montañas volcánicas y terrenos elevados de onduladas a muy accidentadas y con topografía local muy quebrada, con moderada a alto relieve y estratos inferiores porco intemperizados de toba consolidada, escoria máfica a menudo mezclada con cautos rodados y guizarros. Son incluidos también las malpaiseras o flujos de lava reciente con o sin vegetación.

Complejos de suelos no diferenciados de superficiales a profundos, franco-arenoso a franco-arenoso gravillosos de moderados a muy pedregosos. En la superficie a veces se encuentra suelo poco desarrollado, en otros existe una acumulación de materia orgánica. En algunas áreas es predominante los afloramientos rocosos. Algunos suelos son muy impermeables y sufren a menudo de sequías. Otros son muy superficiales sobre roca impermeables. En esta área se incluyen algunas inclusiones de regosoles de textura fina.

11 Ando (Latosoles Arcillosos Rojizos) y Litosoles; ondulado a muy montañoso.

Fuertemente diseccionada dominando la topografía desde la alomada hasta la montañosa accidentada con capas inferiores predominantes de lavas máficas y materiales piroclásticos pedregosos cimentados. Se encuentran a menudo pendientes precipitadas.

Predominan los suelos moderadamente profundos a superficiales. La pedregosidad varía de moderada a excesiva. Se encuentran muchos afloramientos rocosos. Los horizontes superiores son franco arcillosos pedregosos y arcillas, pardos muy oscuros granulares. Donde están mejor desarrollados, los subsuelos, son arcilla pedregosa de --

El drenaje es es bueno a -
excesivo. Se incluyen áreas
dispersas con pendientes
más suaves y valles estre-
chos.

pardos o pardos rojizos a pardo
oscuros o pardo rojizos oscuros
oscuros. La roca madre parcial -
mente o sin interperizar usual -
mente empieza a profundidades me
nor de un metro. En muchos luga-
res los horizontes superiores -
después descansan directamente -
sobre la roca madre.

12 Podzólicos
Rojo-Amari-
lentos y
Litosoles.

Montañas fuertemente disec-
cionadas de relieve alto,
en las zonas templadas in-
termedias y altas con cap-
as inferiores de lavas-
y piroclásticos endureci-
dos estratificadas. Ple-
gadas y falladas. Estas-
en muchos lugares son -
fuertemente intemperiza-
das o cubiertas por man-
tos de roca no consolida-
da. Pendientes fuertes y
muy fuertes predominan; -
las partes más altas de -
las áreas tienen un ambien-
te continuamente húmedo -
aunque existen dos estacio-
nes en el año. La húmeda y
la seca.

Son muy variables. Aquellos más
desarrollados en gran parte de la
extensión de esta unidad de mapa,
tienen horizontes superiores de -
colores claros y moderados a fuer-
temente ácidos sobre suelos de tex-
tura más fina y de color rojo o -
gris amarillento de ambos. En al-
gunos lugares los horizontes supe-
riores son oscuros con alto conte-
nido de materia orgánica sobre -
suelos arcillosos pardos o pardo -
amarillentos. Los suelos más ex-
tensos de la unidad son poco pro-
fundos, pedregosos y poco desarro-
llados.

13 Grumosol
Litosol, y
Ando (Lato-
soles Arci-
llosos Ro-
jizos.

Planicies, cuencas y valles
diseccionados con suelos no
muy profundos sobre capas
inferiores de rocas duras
separadas por colinas roco-
sas y áreas muy quebradas
en la zona baja caliente.
Las formaciones subyacentes
son todas pedregosas, con-
glomeradas y algunas lavas
La topografía consiste prin-
cipalmente de las comple-
jas a indiferenciadas, de -
casi a nivel a onduladas,
pero con intrusiones subs-
tanciales de fases aloma-
das a muy accidentadas.

Predominan los suelos pedregosos
poco profundos. Cuando las forma-
ciones inferiores son tobas y
conglomeradas, en posiciones casi
a nivel o cóncavas, ellos son Gru-
mosoles con arcillas plásticas -
negras, las cuales se encogen y -
se rajan cuando se secan. En las
pendientes convexas y precipita-
das se encuentran los Litosoles -
con muy poco material intemperi-
zado sobrepuesto al material madre
endurecido. Donde las formaciones
inferiores son lavas oscuras frac-
turadas, Los suelos son general-
mente asociaciones de suelos como
los escritos en la unidad de mapa
11. Algunas intrusiones de suelos
aluviales se encuentran a lo lar-
go de los más grandes riachuelos.

- 14 Pantanos sujetos a las mareas, playas costeras y suelos aluviales. Pantanos de manglares, bancos marítimos, playas y planicies costeras, deltas de ríos entre mezclados con estuarios y bahías. Suelos de variable salinidad, mojados, de texturas arenosas, limosos arcillados en pantanos y partes llanas con intrusiones de suelos lluviales arcillosos a arenosos de sobre drenaje y usualmente bordeados hacia el mar por playas arenosas, penínsulas e islas con drenaje bueno a excesivo.

1/ Los suelos que aparecen el texto son por lo general, asociaciones de dos o más grupos mayores de suelos, pero se indican solamente los suelos principales. Los nombres empleados por ejemplo, suelos aluviales, Latosoles, etc. Son los de uso corriente en los Estados Unidos y son empleados también por muchos científicos en el campo de suelos extranjeros: Los nombres en paréntesis son los preferidos en El Salvador.

CUADRO N° 2

CLIMA Y VEGETACION

ZONAS CLIMATICAS	TEMPERATURA , ELEVACIONES .	CULTIVOS PREDOMINANTES	UBICACION	ECOLOGIA
1.- SABANA TROPICAL O TIERRA CALIENTE. 1.1 BOSQUE SECO TROPICAL. 1.2 BOSQUE HUMEDO SUB-TROPICAL. 1.2.1 BOSQUE HUMEDO O ZONA TRANS. FRESCA. 1.2.2 ZONA BAJA O TRANSICION CALIENTE	22°-29° C 0 - 800 m.s.n.m. 24.4°C INFERIORES A 24°C	CEREALES, ALGODON, PASTOS Y CAÑA DE AZUCAR. CULTIVO DE CAFE.	SUB-REGION DEL RIO SUCIO, LAGO DE COATEPEQUE RIO ACELHUATE, RIO SUQUIAPA Y OTROS. LAGO DE GÜIJA Y LAGUNA DE METAPAN. ZONA DE ZAPOTITAN Y LLANURA A/L RIO SUCIO.	
2.- SABANA TROPICAL CALUROSA O TIERRA TEMPLADA.	20°-22°C DISMIN. A 18.4°C 800 - 1200 m.s.n.m.	RÓDALES DE PINO, CAPULIN DE MONTE Y OTROS.	MONTAÑAS DE MONTECRISTO Y ESESMILES VOLCAN DE SANTA ANA Y ALREDORES DE SANTA TECLA, LAGO DE COATEPEQUE, CERRO SAN JACINTO, Y PARTE DE LA CORDILLERA EL BALSAMO.	BOSQUE HUMEDO SUB-TROPICAL ZONA DE TRANSICION FRESCA BOSQUE MUY HUMEDO SUB-TROPICAL
3.- CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA TEMPLADA.	16°-20°C HELADAS EN DIC.-ENE 1200 - 1800 m.s.n.m.	CULTIVOS DE CAFE	SUB-REGION DEL RIO NUNUAPA-TAHUILAPA	
4.- CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA FRIA.	10°-16°C 1800 - 2700 m.s.n.m.	VEGETACION INALTERADA	VOLCANES DE SANTA ANA, SAN SALVADOR Y EN LA CIMA DE LOS CERROS EL PITAL Y MACIZO DE MONTECRISTO. CERRO EL PITAL (6°-12°) TOPOG. MUY ACCIDENTADA.	BOSQUE MUY HUMEDO, MONTANO BAJO.

CUADRO N° 3

HUMEDAD RELATIVA

ESTACION	AÑOS DE REGIST.	ESTACION SECA (S) (%)		MES	ESTACION LLUVIOSA (LL) (%)		MES
SAN ANDRES	24	MAXIMO	77	NOVIEMBRE	MAXIMO	85-84	SEPT. Y JUNIO
		MINIMO	69	MARZO	MINIMO	78	MAYO
		PROMEDIO	71		PROMEDIO	82	
SAN SALVADOR ITIC	28	MAXIMO	71	NOVIEMBRE	MAXIMO	83	SEPTIEMBRE
		MINIMO	62	FEBRERO	MINIMO	75	MAYO
		PROMEDIO	66		PROMEDIO	80	
SANTA ANA, EL PALMAR	26	MAXIMO	70	NOVIEMBRE	MAXIMO	81	SEPTIEMBRE
		MINIMO	63	FEBRERO	MINIMO	73	MAYO
		PROMEDIO	64		PROMEDIO	78	
LA PALMA	20	MAXIMO	78	NOVIEMBRE	MAXIMO	86	SEPTIEMBRE
		MINIMO	68	MARZO	MINIMO	82	JULIO
		PROMEDIO	72		PROMEDIO	84	
NUEVA CONCEPCION	15	MAXIMO	69	NOVIEMBRE	MAXIMO	82	SEPTIEMBRE
		MINIMO	56	FEBRERO	MINIMO	71	MAYO
		PROMEDIO	64		PROMEDIO	79	
GÜIJA	21	MAXIMO	69	NOVIEMBRE	MAXIMO	82	SEPTIEMBRE
		MINIMO	58	MARZO	MINIMO	69	MAYO
		PROMEDIO	62		PROMEDIO	78	

CUADRO N° 4

VIENTOS

ESTACION	VELOCIDADES ESTACION SECA (S) (KM/H)	VELOCIDADES ESTACION LLUVIOSA (LL) (KM/H)	RUMBOS DOMINANTES
SAN ANDRES	PROMEDIO 6.40 MAXIMO ABSOLUTO 65.90	PROMEDIO 4.70 MAXIMO ABSOLUTO 104.40	OESTE
SAN SALVADOR ITIC	PROMEDIO 9.40	PROMEDIO 6.30	NORTE-SUROESTE,ESTE-SUROESTE (LL) NORTE-OESTE-SUROESTE,SUROESTE (S)
SANTA ANA,EL PALMAR	PROMEDIO 9.20 MAXIMO ABSOLUTO 75.20	PROMEDIO 6.40 MAXIMO ABSOLUTO 80.90	SUR-OESTE , OESTE (LL) OESTE - SUROESTE (S)
LA PALMA	PROMEDIO 7.10 MAXIMO ABSOLUTO 91.80	PROMEDIO 3.90 MAXIMO ABSOLUTO 100.80	NOR-ESTE (LL) NORTE (S)
NUEVA CONCEPCION	PROMEDIO 7.50 MAXIMO ABSOLUTO 91.80	PROMEDIO 3.90 MAXIMO ABSOLUTO 100.80	SUR-ESTE (LL) NORTE-SUR (S)
GÜIJA	PROMEDIO 9.20 MAXIMO ABSOLUTO 75.00	PROMEDIO 6.40 MAXIMO ABSOLUTO 80.90	SUR-OESTE , OESTE (LL) OESTE - SUROESTE (S)
BASE EN GUATEMALA ASUNCION MITA	PROMEDIO 8.60	PROMEDIO 3.20	

CUADRO N° 5

EVAPOTRANSPIRACION

ESTACION	ELEVACION (m.s.n.m.)	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm.)
SAN ANDRES	460	ANUAL 1723
SAN SALVADOR ITIC	720	ANUAL 1751
SANTA ANA,EL PALMAR	725	ANUAL 1778
LA PALMA	1000	ANUAL 1545
NUEVA CONCEPCION	320	ANUAL 1901
GÜIJA	485	ANUAL 1721

PROMEDIOS DE EVAPOTRANSPIRACION DE EL AREA EN ESTUDIO

PROMEDIOS MENSUALES

MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	ANUAL
169	141	151	148	131	132	127	127	133	135	170	174	1738

CUADRO N° 6
 PASO DEL OSO (X) – POZA DEL SILENCIO (Y)
 (DATOS EXISTENTES)
 ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 2.595 X - 5.6314$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3 / SEG.)	ESTACION Y (M3 / SEG.)
1971	MAYO	40.00	72.70
	JUNIO	48.80	114.00
	JULIO	27.00	196.00
	AGOSTO	46.80	395.00
	SEPTIEMBRE	44.70	348.00
	OCTUBRE	110.80	940.00
	NOVIEMBRE	18.40	102.00
	DICIEMBRE	16.10	80.60
1972	ENERO	14.10	68.40
	FEBRERO	14.00	65.40
	MARZO	13.50	60.50
	ABRIL	11.40	58.30
	MAYO	23.90	71.60
	JUNIO	50.60	150.00
	JULIO	43.20	103.00
	AGOSTO	46.70	161.00
	SEPTIEMBRE	39.40	215.00
	OCTUBRE	12.60	84.40
	NOVIEMBRE	18.80	54.00
	DICIEMBRE	21.90	44.40
1973	ENERO	4.18	21.30
	FEBRERO	3.45	19.90
	MARZO	9.76	27.20
	ABRIL	7.99	26.40
	MAYO	16.10	42.40
	JUNIO	115.00	194.00
	JULIO	77.20	184.00
	AGOSTO	167.00	430.00
	SEPTIEMBRE	173.00	402.00
	OCTUBRE	208.00	577.00
	NOVIEMBRE	64.60	100.00
	DICIEMBRE	52.20	78.70
1974	ENERO	43.70	68.80
	FEBRERO	39.10	65.70
	MARZO	40.60	73.70
	ABRIL	41.60	71.50
	MAYO	47.22	71.37
	JUNIO	126.90	274.11
	JULIO	91.63	202.26
	AGOSTO	74.27	184.46
	SEPTIEMBRE	119.69	406.79
	OCTUBRE	66.29	135.33
	NOVIEMBRE	51.25	76.24
	DICIEMBRE	45.27	68.08
1975	ENERO	33.74	59.02
	FEBRERO	19.63	44.25
	MARZO	12.75	33.45
	ABRIL	11.18	33.04
	MAYO	25.43	59.02
	JUNIO	23.35	67.61
	JULIO	23.74	70.29
	AGOSTO	54.66	187.07
	SEPTIEMBRE	144.60	512.17
	OCTUBRE	105.68	326.19
	NOVIEMBRE	80.61	182.41
	DICIEMBRE	64.48	87.74
1976	ENERO	53.05	77.05
	FEBRERO	45.62	75.76
	MARZO	44.15	67.85

CUADRO N° 7
 CERRON GRANDE (X) - PASO DEL OSO (Y)
 (DATOS EXISTENTES)
 ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 12.756 + .4345 X$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3/SEG.)	ESTACION Y (M3/SEG.)
1977	ENERO	50.23	43.64
	FEBRERO	43.58	42.11
	MARZO	30.90	23.53
	ABRIL	27.91	11.53
	MAYO	40.47	7.96
	JUNIO	152.90	45.42
	JULIO	61.83	14.64
	AGOSTO	152.76	25.12
	SEPTIEMBRE	164.85	61.78
	OCTUBRE	97.68	53.73
	NOVIEMBRE	64.31	45.53
	DICIEMBRE	37.97	36.90
1978	ENERO	35.59	31.43
	FEBRERO	25.51	19.01
	MARZO	16.03	5.07
	ABRIL	19.95	2.10
	MAYO	35.95	6.44
	JUNIO	105.41	3.00
	JULIO	275.92	115.25
	AGOSTO	193.09	77.90
	SEPTIEMBRE	409.27	162.48
	OCTUBRE	248.41	130.49
	NOVIEMBRE	75.71	67.37
	DICIEMBRE	64.32	60.37
1979	ENERO	48.52	46.49
	FEBRERO	43.65	34.39
	MARZO	36.73	26.55
	ABRIL	46.07	22.15
	MAYO	56.69	26.01
	JUNIO	175.48	118.76
	JULIO	174.15	287.22
	AGOSTO	175.54	80.26
	SEPTIEMBRE	342.99	200.39
	OCTUBRE	188.00	84.17
	NOVIEMBRE	66.60	58.55
	DICIEMBRE	55.72	53.46
1980	ENERO	51.69	48.68
	FEBRERO	43.93	42.47
	MARZO	39.29	39.44
	ABRIL	36.05	34.30
	MAYO	75.00	46.89
	JUNIO	250.74	96.50
	JULIO	188.74	77.89
	AGOSTO	355.58	143.87
	SEPTIEMBRE	366.00	163.67
	OCTUBRE	176.47	89.42
	NOVIEMBRE	62.39	51.16
	DICIEMBRE	42.74	40.63
1981	ENERO	46.34	45.06
	FEBRERO	42.94	41.43
	MARZO	41.39	36.82
	ABRIL	24.85	19.55
	MAYO	47.74	18.47
	JUNIO	154.05	71.00
	JULIO	331.49	144.85
	AGOSTO	212.17	152.99
	SEPTIEMBRE	353.48	140.79
	OCTUBRE	571.10	299.07
	NOVIEMBRE	74.55	32.08
	DICIEMBRE	50.27	34.28

CUADRO N° 7
 CERRON GRANDE (X) - PASO DEL OSO (Y)
 (DATOS EXISTENTES)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 12.756 + .4345 X$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3 / SEG.)	ESTACION X (M3 / SEG.)
1982	ENERO	37.64	33.95
	FEBRERO	24.84	23.77
	MARZO	26.50	25.55
	ABRIL	37.56	25.98
	MAYO	67.50	42.08
	JUNIO	288.44	138.08
	JULIO	121.59	65.59
	AGOSTO	103.20	57.59
	SEPTIEMBRE	376.99	176.56
	OCTUBRE	228.48	112.03
	NOVIEMBRE	72.68	46.07
	DICIEMBRE	50.89	34.87
1983	ENERO	44.90	32.26
	FEBRERO	51.06	34.94
	MARZO	46.47	32.95
	ABRIL	23.31	22.88
	MAYO	39.87	30.08
	JUNIO	101.80	56.99
	JULIO	141.02	74.03
	AGOSTO	137.49	72.49
	SEPTIEMBRE	222.04	109.23
	OCTUBRE	165.49	84.66
	NOVIEMBRE	41.42	30.75
	DICIEMBRE	28.58	25.17
1984	ENERO	32.13	26.72
	FEBRERO	36.49	28.61
	MARZO	34.61	27.79
	ABRIL	28.23	25.02
	MAYO	63.41	40.31
	JUNIO	179.57	90.78
	JULIO	345.84	163.02
	AGOSTO	245.17	119.28
	SEPTIEMBRE	451.74	209.03
	OCTUBRE	155.84	80.47
	NOVIEMBRE	49.30	34.18
	DICIEMBRE	36.06	28.42
1985	ENERO	33.90	27.49
	FEBRERO	40.32	30.28
	MARZO	33.72	27.41
	ABRIL	35.61	28.23
	MAYO	56.80	37.44
	JUNIO	117.68	63.89
	JULIO	196.19	98.00
	AGOSTO	307.43	146.33
	SEPTIEMBRE	278.90	133.94
	OCTUBRE	241.27	117.59
	NOVIEMBRE	85.20	49.78
	DICIEMBRE	41.06	30.59
1986	ENERO	38.63	29.54
	FEBRERO	30.97	26.21
	MARZO	30.57	26.04
	ABRIL	33.40	27.27
	MAYO	39.58	29.95
	JUNIO	95.00	54.03
	JULIO	128.34	68.52
	AGOSTO	102.00	57.08
	SEPTIEMBRE	197.67	98.64
	OCTUBRE	120.26	65.00
	NOVIEMBRE	35.06	27.98
	DICIEMBRE	26.23	24.15

CUADRO N° 7

CERRON GRANDE (X) - PASO DEL OSO (Y)

(DATOS EXISTENTES)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 12.756 + .4345 X$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3 / SEG.)	ESTACION Y (M3 / SEG.)
1987	ENERO	15.32	19.41
	FEBRERO	14.53	19.07
	MARZO	17.20	20.23
	ABRIL	15.40	19.45
	MAYO	35.49	28.18
	JUNIO	277.92	133.51
	JULIO	475.22	219.24
	AGOSTO	354.92	166.66
	SEPTIEMBRE	288.50	138.11
	OCTUBRE	82.46	48.58
	NOVIEMBRE	51.07	34.95
	DICIEMBRE	40.07	30.17
1988	ENERO	38.82	29.62
	FEBRERO	46.84	33.11
	MARZO	41.26	30.68
	ABRIL	22.47	22.52
	MAYO	29.92	25.76
	JUNIO	202.87	100.90
	JULIO	293.89	140.45
	AGOSTO	363.17	170.55
	SEPTIEMBRE	435.19	201.85
	OCTUBRE	260.67	126.02
	NOVIEMBRE	74.50	45.13
	DICIEMBRE	75.80	45.69
1989	ENERO	39.72	30.10
	FEBRERO	34.75	27.85
	MARZO	33.86	27.47
	ABRIL	57.78	37.86
	MAYO	61.51	39.48
	JUNIO	172.71	87.79
	JULIO	242.09	117.94
	AGOSTO	340.69	160.78
	SEPTIEMBRE	583.54	266.30
	OCTUBRE	497.44	228.89
	NOVIEMBRE	95.28	54.16
	DICIEMBRE	53.00	35.78
1990	ENERO	49.78	34.38
	FEBRERO	48.94	34.02
	MARZO	41.66	30.86
	ABRIL	42.01	31.00
	MAYO	124.19	66.72
	JUNIO	266.71	128.64
	JULIO	345.81	163.01
	AGOSTO	201.45	100.29
	SEPTIEMBRE	508.52	233.71
	OCTUBRE	223.65	109.93
	NOVIEMBRE	75.79	45.69
	DICIEMBRE	65.77	41.33
1991	ENERO	49.22	34.14
	FEBRERO	49.76	34.38
	MARZO	42.12	31.06
	ABRIL	41.01	30.57
	MAYO	45.54	32.54
	JUNIO	146.02	76.20
	JULIO	88.03	51.01
	AGOSTO	129.42	68.99
	SEPTIEMBRE	136.02	71.86
	OCTUBRE	207.89	103.08
	NOVIEMBRE	56.14	37.15
	DICIEMBRE	44.60	32.13

CUADRO N° 7
CERRON GRANDE (X) - PASO DEL OSO (Y)
(DATOS EXISTENTES)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 12.756 + .4345 X$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3 / SEG.)	ESTACION X (M3 / SEG.)
1992	ENERO	22.69	22.61
	FEBRERO	22.11	22.36
	MARZO	15.94	19.68
	ABRIL	14.68	19.13
	MAYO	4.51	14.72
	JUNIO	191.99	96.17
	JULIO	256.66	124.27
	AGOSTO	261.47	126.36
	SEPTIEMBRE	441.38	204.53
	OCTUBRE	205.30	101.96
	NOVIEMBRE	63.13	40.18
	DICIEMBRE	47.21	33.27

CUADRO N° 8

PASO DEL OSO (X) - POZA DEL SILENCIO (Y)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 2.595 X - 5.631$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3/SEG.)	ESTACION Y (M3/SEG.)
1976	MAYO	29.91	71.99
	JUNIO	162.67	416.50
	JULIO	84.85	214.55
	AGOSTO	37.18	90.85
	SEPTIEMBRE	42.38	104.35
	OCTUBRE	53.98	134.45
	NOVIEMBRE	43.38	106.94
	DICIEMBRE	49.44	122.67
1977	ENERO	43.64	107.61
	FEBRERO	42.11	103.64
	MARZO	23.53	55.43
	ABRIL	11.53	24.29
	MAYO	7.95	15.00
	JUNIO	45.42	112.23
	JULIO	14.64	32.36
	AGOSTO	25.12	59.56
	SEPTIEMBRE	61.78	154.69
	OCTUBRE	53.73	133.80
	NOVIEMBRE	45.52	112.49
	DICIEMBRE	36.90	90.12
	1978	ENERO	31.43
FEBRERO		19.01	43.70
MARZO		5.07	7.53
ABRIL		2.09	(0.21)
MAYO		6.44	11.08
JUNIO		2.99	2.13
JULIO		115.26	293.47
AGOSTO		77.89	196.49
SEPTIEMBRE		162.48	416.00
OCTUBRE		130.49	332.99
NOVIEMBRE		67.18	168.70
DICIEMBRE		60.37	151.03
1979		ENERO	46.49
	FEBRERO	34.39	83.61
	MARZO	26.55	63.27
	ABRIL	22.15	51.85
	MAYO	26.01	61.86
	JUNIO	118.76	302.55
	JULIO	287.22	739.70
	AGOSTO	80.26	202.64
	SEPTIEMBRE	200.39	514.38
	OCTUBRE	84.17	212.79
	NOVIEMBRE	58.55	146.31
	DICIEMBRE	53.46	133.10
	1980	ENERO	48.68
FEBRERO		42.47	104.58
MARZO		39.44	96.72
ABRIL		34.30	83.38
MAYO		46.89	116.05
JUNIO		96.49	244.76
JULIO		77.89	196.49
AGOSTO		143.87	367.71
SEPTIEMBRE		163.67	419.09
OCTUBRE		89.42	226.41
NOVIEMBRE		51.16	127.13
DICIEMBRE		40.63	99.80
1981		ENERO	45.06
	FEBRERO	41.43	101.88
	MARZO	36.82	89.92
	ABRIL	19.45	44.84

CUADRO N° 8

PASO DEL OSO (X) - POZA DEL SILENCIO (Y)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 2.595 X - 5.631$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3/SEG.)	ESTACION Y (M3/SEG.)
	MAYO	18.47	42.30
	JUNIO	71.00	178.61
	JULIO	144.85	370.25
	AGOSTO	152.99	391.38
	SEPTIEMBRE	140.79	359.72
	OCTUBRE	299.07	770.46
	NOVIEMBRE	32.08	77.62
	DICIEMBRE	34.27	83.30
1982	ENERO	33.95	82.47
	FEBRERO	23.77	56.05
	MARZO	25.55	60.67
	ABRIL	25.98	61.79
	MAYO	42.08	103.57
	JUNIO	138.08	352.69
	JULIO	65.59	164.58
	AGOSTO	57.59	143.82
	SEPTIEMBRE	176.56	452.54
	OCTUBRE	112.03	285.09
	NOVIEMBRE	46.07	113.92
	DICIEMBRE	34.87	84.86
	1983	ENERO	32.26
	FEBRERO	34.94	85.04
	MARZO	32.95	79.87
	ABRIL	22.88	53.74
	MAYO	30.08	72.43
	JUNIO	56.99	142.26
	JULIO	74.03	186.48
	AGOSTO	72.49	182.48
	SEPTIEMBRE	109.23	277.82
	OCTUBRE	84.66	214.06
	NOVIEMBRE	30.75	74.17
	DICIEMBRE	25.17	59.69
	1984	ENERO	26.72
	FEBRERO	28.61	68.61
	MARZO	27.79	66.48
	ABRIL	25.02	59.30
	MAYO	40.31	98.97
	JUNIO	90.78	229.94
	JULIO	163.02	417.41
	AGOSTO	119.28	303.90
	SEPTIEMBRE	209.03	536.80
	OCTUBRE	80.47	203.19
	NOVIEMBRE	34.18	83.07
	DICIEMBRE	28.42	68.12
	1985	ENERO	27.49
	FEBRERO	30.28	72.95
	MARZO	27.41	65.50
	ABRIL	28.23	67.63
	MAYO	37.44	91.53
	JUNIO	63.89	160.16
	JULIO	98.00	248.68
	AGOSTO	146.33	374.10
	SEPTIEMBRE	133.94	341.94
	OCTUBRE	117.59	299.52
	NOVIEMBRE	49.78	123.55
	DICIEMBRE	30.59	73.75
	1986	ENERO	29.54
	FEBRERO	26.21	62.38
	MARZO	26.04	61.94
	ABRIL	27.27	65.13
	MAYO	29.95	72.09

CUADRO N° 8

PASO DEL OSO (X) - POZA DEL SILENCIO (Y)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 2.595 X - 5.631$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3 / SEG.)	ESTACION Y (M3 / SEG.)
	JUNIO	54.03	134.58
	JULIO	68.52	172.18
	AGOSTO	57.08	142.48
	SEPTIEMBRE	98.64	250.34
	OCTUBRE	65.00	163.04
	NOVIEMBRE	27.98	66.98
	DICIEMBRE	24.15	57.04
1987	ENERO	19.41	44.74
	FEBRERO	19.07	43.86
	MARZO	20.23	46.87
	ABRIL	19.45	44.84
	MAYO	28.18	67.50
	JUNIO	133.51	340.83
	JULIO	219.24	563.30
	AGOSTO	166.66	426.85
	SEPTIEMBRE	138.11	352.76
	OCTUBRE	48.58	120.43
	NOVIEMBRE	34.95	85.06
	DICIEMBRE	30.17	72.66
	1988	ENERO	29.62
	FEBRERO	33.11	80.29
	MARZO	30.68	73.98
	ABRIL	22.52	52.81
	MAYO	25.76	61.22
	JUNIO	100.90	256.20
	JULIO	140.45	358.84
	AGOSTO	170.55	436.95
	SEPTIEMBRE	201.85	518.17
	OCTUBRE	126.02	321.39
	NOVIEMBRE	45.13	111.48
	DICIEMBRE	45.69	112.93
	1989	ENERO	30.10
	FEBRERO	27.85	66.64
	MARZO	27.47	65.65
	ABRIL	37.86	92.62
	MAYO	39.48	96.82
	JUNIO	87.79	222.18
	JULIO	117.94	300.42
	AGOSTO	160.78	411.59
	SEPTIEMBRE	266.30	685.42
	OCTUBRE	228.89	588.34
	NOVIEMBRE	54.16	134.91
	DICIEMBRE	35.78	87.22
	1990	ENERO	34.38
	FEBRERO	34.02	82.65
	MARZO	30.86	74.45
	ABRIL	31.00	74.81
	MAYO	66.72	167.51
	JUNIO	128.64	328.19
	JULIO	163.01	417.38
	AGOSTO	100.29	254.62
	SEPTIEMBRE	233.71	600.85
	OCTUBRE	109.93	279.64
	NOVIEMBRE	45.69	112.93
	DICIEMBRE	41.33	101.62
	1991	ENERO	34.14
	FEBRERO	34.38	83.59
	MARZO	31.06	74.97
	ABRIL	30.57	73.70
	MAYO	32.54	78.81
	JUNIO	76.20	192.11

CUADRO N° 8

PASO DEL OSO (X) - POZA DEL SILENCIO (Y)

ECUACION DE CORRELACION

$$Y = 2.595 X - 5.631$$

AÑO	MES	ESTACION X (M3/SEG.)	ESTACION Y (M3/SEG.)
	JULIO	51.01	126.74
	AGOSTO	68.99	173.40
	SEPTIEMBRE	71.86	180.85
	OCTUBRE	103.08	261.86
	NOVIEMBRE	37.15	90.77
	DICIEMBRE	32.13	77.75
1992	ENERO	22.61	53.04
	FEBRERO	22.36	52.39
	MARZO	19.68	45.44
	ABRIL	19.13	44.01
	MAYO	14.72	32.57
	JUNIO	96.17	243.93
	JULIO	124.27	316.85
	AGOSTO	126.36	322.27
	SEPTIEMBRE	204.53	525.12
	OCTUBRE	101.96	258.96
	NOVIEMBRE	40.18	98.64
	DICIEMBRE	33.27	80.70

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 - 1992

ECUACION : $Q_s = (0.22 * Q_l) ^ 2.62$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
1976				
MAYO	71.99	1,390.36	43,101.29	
JUNIO	416.50	138,207.73	4,146,231.75	
JULIO	214.55	24,309.57	753,596.77	
AGOSTO	90.85	2,558.42	79,311.14	
SEPTIEMBRE	104.35	3,677.43	110,322.85	
OCTUBRE	134.45	7,144.18	221,469.48	
NOVIEMBRE	106.94	3,921.89	117,656.79	
DICIEMBRE	122.67	5,618.27	174,166.52	5,645,856.61
1977				
ENERO	107.61	3,987.05	123,598.66	
FEBRERO	103.64	3,613.08	101,166.36	
MARZO	55.43	701.04	21,732.38	
ABRIL	24.29	80.71	2,421.35	
MAYO	15.00	22.83	707.64	
JUNIO	112.23	4,451.15	133,534.57	
JULIO	32.36	171.14	5,305.48	
AGOSTO	59.56	846.14	26,230.26	
SEPTIEMBRE	154.69	10,316.31	309,489.39	
OCTUBRE	133.80	7,054.21	218,680.52	
NOVIEMBRE	112.49	4,478.17	134,345.01	
DICIEMBRE	90.12	2,505.16	77,660.01	1,154,871.62
1978				
ENERO	75.93	1,598.93	49,566.70	
FEBRERO	43.70	376.02	10,528.48	
MARZO	7.53	3.75	116.16	
ABRIL	0.21	0.00	0.01	
MAYO	11.08	10.33	320.10	
JUNIO	2.13	0.14	4.11	
JULIO	293.47	55,228.00	1,712,067.97	
AGOSTO	196.49	19,307.23	598,524.13	
SEPTIEMBRE	416.00	137,779.48	4,133,384.31	
OCTUBRE	332.99	76,898.70	2,383,859.85	
NOVIEMBRE	168.70	12,947.81	388,434.34	
DICIEMBRE	151.03	9,689.17	300,364.33	9,577,170.47
1979				
ENERO	115.01	4,745.48	147,109.88	

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 -1992

ECUACION : $Q_s = (0.22 * Q_I)^{2.62}$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
FEBRERO	83.61	2,058.16	57,628.36	
MARZO	63.27	991.33	30,731.23	
ABRIL	51.85	588.51	17,655.18	
MAYO	61.86	934.83	28,979.72	
JUNIO	302.55	59,819.18	1,794,575.54	
JULIO	739.70	622,415.91	19,294,893.07	
AGOSTO	202.64	20,930.91	648,858.29	
SEPTIEMBRE	514.38	240,278.01	7,208,340.20	
OCTUBRE	212.79	23,789.23	737,466.17	
NOVIEMBRE	146.31	8,915.30	267,459.13	
DICIEMBRE	133.10	6,957.84	215,692.96	30,449,389.72
1980				
ENERO	120.69	5,384.68	166,925.17	
FEBRERO	104.58	3,699.03	103,572.91	
MARZO	96.72	3,014.05	93,435.60	
ABRIL	83.38	2,043.13	61,293.82	
MAYO	116.05	4,858.51	150,613.94	
JUNIO	244.76	34,328.11	1,029,843.42	
JULIO	196.49	19,307.23	598,524.13	
AGOSTO	367.71	99,718.74	3,091,280.96	
SEPTIEMBRE	419.09	140,475.23	4,214,256.78	
OCTUBRE	226.41	27,989.39	867,671.24	
NOVIEMBRE	127.13	6,169.79	185,093.60	
DICIEMBRE	99.80	3,272.75	101,455.37	10,663,966.95
1981				
ENERO	111.30	4,354.73	134,996.77	
FEBRERO	101.88	3,454.13	96,715.66	
MARZO	89.92	2,490.07	77,192.20	
ABRIL	44.84	402.31	12,069.16	
MAYO	42.30	345.24	10,702.48	
JUNIO	178.61	15,037.17	451,115.01	
JULIO	370.25	101,535.78	3,147,609.09	
AGOSTO	391.38	117,422.19	3,640,087.78	
SEPTIEMBRE	359.72	94,139.44	2,824,183.33	
OCTUBRE	770.46	692,510.32	21,467,820.03	
NOVIEMBRE	77.62	1,693.67	50,810.07	
DICIEMBRE	83.30	2,038.13	63,182.13	31,976,483.70
1982				

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 -1992

ECUACION : $Q_s = (0.22 \cdot Q_I)^{2.62}$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
ENERO	82.47	1,985.33	61,545.21	
FEBRERO	56.05	721.87	20,212.37	
MARZO	60.67	888.31	27,537.49	
ABRIL	61.79	931.75	27,952.52	
MAYO	103.57	3,605.98	111,785.32	
JUNIO	352.69	89,393.61	2,681,808.43	
JULIO	164.58	12,134.48	376,168.81	
AGOSTO	143.82	8,523.05	264,214.40	
SEPTIEMBRE	452.54	171,780.64	5,153,419.28	
OCTUBRE	285.09	51,190.30	1,586,899.21	
NOVIEMBRE	113.92	4,628.56	138,856.79	
DICIEMBRE	84.86	2,139.46	66,323.30	10,516,723.14
1983				
ENERO	78.08	1,720.50	53,335.62	
FEBRERO	85.04	2,151.48	60,241.48	
MARZO	79.87	1,825.80	56,599.80	
ABRIL	53.74	646.52	19,395.62	
MAYO	72.43	1,412.80	43,796.78	
JUNIO	142.26	8,283.40	248,502.08	
JULIO	186.48	16,833.90	521,850.88	
AGOSTO	182.48	15,905.04	493,056.35	
SEPTIEMBRE	277.82	47,842.22	1,435,266.50	
OCTUBRE	214.06	24,163.48	749,067.96	
NOVIEMBRE	74.17	1,503.39	45,101.80	
DICIEMBRE	59.69	850.98	26,380.24	3,752,595.11
1984				
ENERO	63.71	1,009.54	31,295.84	
FEBRERO	68.61	1,226.07	34,329.92	
MARZO	66.48	1,128.93	34,996.84	
ABRIL	59.30	836.51	25,095.35	
MAYO	98.97	3,201.89	99,258.60	
JUNIO	229.94	29,146.93	874,407.91	
JULIO	417.41	138,998.76	4,308,961.43	
AGOSTO	303.90	60,520.72	1,876,142.40	
SEPTIEMBRE	536.80	268,695.33	8,060,859.82	
OCTUBRE	203.19	21,078.71	653,439.92	
NOVIEMBRE	83.07	2,023.20	60,695.86	
DICIEMBRE	68.12	1,203.12	37,296.69	16,096,780.59
1985				

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 -1992

ECUACION : $Qs = (0.22 * QI) ^ 2.62$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
ENERO	65.71	1,094.62	33,933.33	
FEBRERO	72.95	1,439.48	40,305.39	
MARZO	65.50	1,085.59	33,653.15	
ABRIL	67.63	1,180.44	35,413.11	
MAYO	91.53	2,608.50	80,863.62	
JUNIO	160.16	11,300.67	339,020.17	
JULIO	248.68	35,786.72	1,109,388.33	
AGOSTO	374.10	104,318.44	3,233,871.58	
SEPTIEMBRE	341.94	82,434.15	2,473,024.49	
OCTUBRE	299.52	58,259.17	1,806,034.24	
NOVIEMBRE	123.55	5,724.77	171,743.06	
DICIEMBRE	73.75	1,481.44	45,924.71	9,403,175.16
1986				
ENERO	71.03	1,342.30	41,611.31	
FEBRERO	62.38	955.52	26,754.47	
MARZO	61.94	937.91	29,075.36	
ABRIL	65.13	1,069.88	32,096.40	
MAYO	72.09	1,395.62	43,264.32	
JUNIO	134.58	7,162.25	214,867.64	
JULIO	172.18	13,658.77	423,421.81	
AGOSTO	142.48	8,317.10	257,829.95	
SEPTIEMBRE	250.34	36,416.30	1,092,488.86	
OCTUBRE	163.04	11,840.94	367,069.03	
NOVIEMBRE	66.98	1,151.00	34,529.93	
DICIEMBRE	57.04	755.62	23,424.19	2,586,433.28
1987				
ENERO	44.74	399.87	12,395.97	
FEBRERO	43.86	379.54	10,627.04	
MARZO	46.87	451.64	14,000.81	
ABRIL	44.84	402.31	12,069.16	
MAYO	67.50	1,174.51	36,409.88	
JUNIO	340.83	81,731.22	2,451,936.62	
JULIO	563.30	304,845.02	9,450,195.69	
AGOSTO	426.85	147,391.76	4,569,144.55	
SEPTIEMBRE	352.76	89,445.32	2,683,359.66	
OCTUBRE	120.43	5,354.40	165,986.49	
NOVIEMBRE	85.06	2,153.20	64,596.06	
DICIEMBRE	72.66	1,424.77	44,167.76	19,514,889.69

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 -1992

ECUACION : $Q_s = (0.22 \cdot Q_I)^{2.62}$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
1988				
ENERO	71.23	1,352.60	41,930.72	
FEBRERO	80.29	1,850.77	51,821.58	
MARZO	73.98	1,493.77	46,306.72	
ABRIL	52.81	617.49	18,524.67	
MAYO	61.22	909.36	28,190.25	
JUNIO	256.20	38,694.10	1,160,822.91	
JULIO	358.84	93,535.69	2,899,606.29	
AGOSTO	436.95	156,699.94	4,857,698.10	
SEPTIEMBRE	518.17	244,942.54	7,348,276.08	
OCTUBRE	321.39	70,076.98	2,172,386.45	
NOVIEMBRE	111.48	4,373.38	131,201.41	
DICIEMBRE	112.93	4,524.32	140,254.05	18,897,019.26
1989				
ENERO	72.48	1,415.45	43,879.05	
FEBRERO	66.64	1,135.87	31,804.37	
MARZO	65.65	1,092.36	33,863.15	
ABRIL	92.62	2,690.67	80,720.23	
MAYO	96.82	3,022.53	93,698.56	
JUNIO	222.18	26,640.06	799,201.74	
JULIO	300.42	58,723.17	1,820,418.25	
AGOSTO	411.59	133,984.27	4,153,512.31	
SEPTIEMBRE	685.42	509,741.53	15,292,245.89	
OCTUBRE	588.34	341,641.77	10,590,894.91	
NOVIEMBRE	134.91	7,209.39	216,281.69	
DICIEMBRE	87.22	2,298.99	71,268.64	33,227,788.80
1990				
ENERO	83.59	2,056.48	63,750.96	
FEBRERO	82.65	1,996.81	55,910.60	
MARZO	74.45	1,518.60	47,076.63	
ABRIL	74.81	1,538.09	46,142.79	
MAYO	167.51	12,709.15	393,983.64	
JUNIO	328.19	74,027.85	2,220,835.47	
JULIO	417.38	138,976.12	4,308,259.60	
AGOSTO	254.62	38,070.86	1,180,196.79	
SEPTIEMBRE	600.85	361,000.49	10,830,014.73	
OCTUBRE	279.64	48,666.13	1,508,649.95	
NOVIEMBRE	112.93	4,524.32	135,729.72	
DICIEMBRE	101.62	3,431.13	106,364.94	20,896,915.83

CUADRO N° 10

ESTACION : POZA DEL SILENCIO

PERIODO : 1976 -1992

ECUACION : $Q_s = (0.22 \cdot Q_l) ^{2.62}$

MES	CAUDAL LIQUIDO M3/Seg.	CAUDAL SOLIDO TON/DIA	CAUDAL SOLIDO TON/MES	QS ACUMULADO TON.
1991				
ENERO	82.96	2,016.58	62,513.93	
FEBRERO	83.59	2,056.48	57,581.51	
MARZO	74.97	1,546.49	47,941.30	
ABRIL	73.70	1,478.71	44,361.37	
MAYO	78.81	1,762.77	54,645.77	
JUNIO	192.11	18,198.54	545,956.15	
JULIO	126.74	6,120.42	189,732.87	
AGOSTO	173.40	13,913.72	431,325.31	
SEPTIEMBRE	180.85	15,534.41	466,032.42	
OCTUBRE	261.86	40,972.79	1,270,156.63	
NOVIEMBRE	90.77	2,552.68	76,580.52	
DICIEMBRE	77.75	1,701.10	52,734.00	3,299,561.78
1992				
ENERO	53.04	624.67	19,364.76	
FEBRERO	52.39	604.85	16,935.80	
MARZO	45.44	416.49	12,911.08	
ABRIL	44.01	383.08	11,492.33	
MAYO	32.57	174.04	5,395.12	
JUNIO	243.93	34,023.81	1,020,714.40	
JULIO	316.85	67,512.30	2,092,881.24	
AGOSTO	322.27	70,582.14	2,188,046.26	
SEPTIEMBRE	525.12	253,649.65	7,609,489.63	
OCTUBRE	258.96	39,792.02	1,233,552.58	
NOVIEMBRE	98.64	3,173.38	95,201.26	
DICIEMBRE	80.70	1,875.95	58,154.50	14,364,138.97
			242,023,760.67	242,023,760.67

CAUDAL SOLIDO ACUMULADO : 242,023,760.67 Ton.

201,686,467.22 M3.

FACTOR DE CONVERSION 1 M3. = 1.2 Ton.

CUADRO No. 11 HOJA 1/2
CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS PRINCIPALES
SUB - CUENCAS DEL RIO LEMPA DENTRO DEL AREA EN ESTUDIO

CARACTERISTICAS	CUENCA ALTA							
	ACELHUATE	ANGUE	TAHUILAPA	OSTUA	MOJAPLORES	SUQUIAPA	CUSMAPA	VALLE DEL LEMPA
AREA (KM².)	711.00	587.40	137.98	1,759.10	51.00	439.60	221.10	1,446.61
PERIMETRO (KM.)	129.00	117.00	72.00	202.00	38.50	146.60	60.00	294.00
ORDEN DEL CAUCE	6.00	4.00	3.00	3.00	3.00	5.00	2.00	6.00
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (KM.)	50.00	35.00	25.00	90.50	14.00	35.90	20.60	123.00
LONGITUD DEL CAUCE MAS LARGO (KM.)	65.00	45.00	37.00	110.60	18.00	57.00	21.60	123.00
ELEVACION MAXIMA (m.s.n.m.)	1,893.00	1,000.00	2,418.00	2,000.00	1,100.00	1,660.00	1,400.00	1,800.00
ELEVACION MEDIA (m.s.n.m.)	574.00	713.50	710.00	850.00	516.78	660.00	709.20	1,050.00
ELEVACION MINIMA (m.s.n.m.)	228.00	427.00	380.00	427.00	270.00	255.00	427.00	300.00
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	19.0%		38.0%	12.4%	19.7%	21.0%	23.8%	
PENDIENTE DEL CAUCE (MTS/KM.)	25.00	12.73	74.70	14.50	45.40	24.40	17.70	12.20
TIPO DE DRENAJE	RADIAL DEND.	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRIT.	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRITICO
TIEMPO DE CONCENTRACION (Hrs.)	5.00	2.87	2.97	10.14	1.50	3.64	2.21	6.87
TIEMPO LAG (Hrs.)	3.00	1.72	1.78	6.08	0.90	2.18	1.33	4.12

CUADRO No. 11 HOJA 2/2
 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS PRINCIPALES
 SUB-CUENCAS DEL RIO LEMPA DENTRO DEL AREA EN ESTUDIO

CARACTERISTICAS	CUENCA ALTA					CUENCA MEDIA		
	METAYATE	NUNUAPA	GUAIJOYO	SUCIO	SOYATE	GRANDE CHALATE	TAMULASCO	QUEZALAPA
AREA (KM².)	187.70	96.80	214.70	837.44	110.89	130.57	256.00	408.00
PERIMETRO (KM.)	62.00	72.00	97.00	175.00	51.66	66.00	415.00	101.00
ORDEN DEL CAUCE	3.00	2.00	2.00	5.00	3.00	3.00	2.00	3.00
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (KM.)	27.00	15.00	34.50	66.00	18.00	30.00	21.00	24.00
LONGITUD DEL CAUCE MAS LARGO (KM.)	30.00	17.00	40.50	70.00	22.00	32.40	27.00	32.10
ELEVACION MAXIMA (m.s.n.m.)	1,200.00	2,700.00	1,400.00	1,893.00	725.00	1,898.00	1,643.50	1,011.00
ELEVACION MEDIA (m.s.n.m.)	562.66	880.50	690.85	615.00	484.00	746.48	689.19	583.25
ELEVACION MINIMA (m.s.n.m.)	243.00	650.00	400.00	250.00	243.00	243.00	243.00	243.00
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	12.0%	23.0%	20.5%	17.0%		15.0%	30.0%	26.0%
PENDIENTE DEL CAUCE (MTS/KM.)	31.30	144.00	13.90	23.60	21.91	51.08	52.20	15.80
TIPO DE DRENAJE	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRITICO	RADIAL DENDRIT.	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRITICO	DENDRITICO
TIEMPO DE CONCENTRACION (Hrs.)	3.04	1.15	3.96	6.92	1.71	2.54	1.96	2.88
TIEMPO LAG (Hrs.)	1.82	0.69	2.38	4.15	1.03	1.52	1.18	1.73

CARACFIS

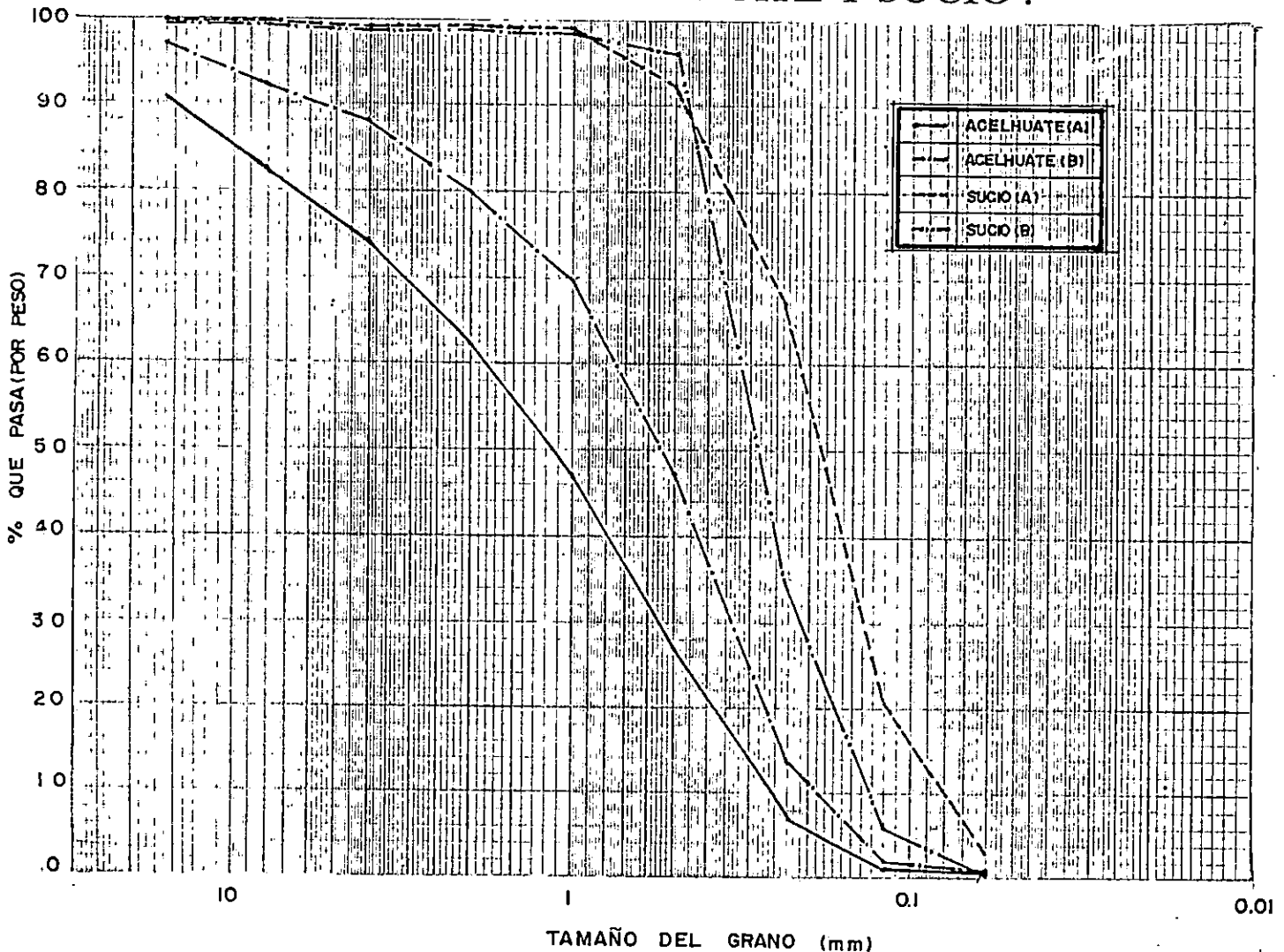
Fuente : Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL).

CUADRO N°12
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SEDIMENTO
DE FONDO DE LOS RÍOS ACELHUATE Y SUCIO .

TAMANO DEL GRANO (mm)	% QUE PASA (POR PESO)			
	ACELHUATE (A)	ACELHUATE (B)	SUCIO (A)	SUCIO (B)
16	90.04	96.25	100.00	100.00
8	82.60	92.67	100.00	100.00
4	74.29	88.00	99.98	99.96
2	62.63	80.02	99.98	99.82
1	47.71	69.93	98.34	98.41
0.5	27.55	46.94	92.39	96.11
0.25	7.42	13.33	67.75	34.91
0.125	1.14	1.89	20.66	6.78
0.0625	0.63	0.98	3.25	0.82

%GRANULO

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL SEDIMENTO
DE FONDO DE LOS RÍOS ACELHUATE Y SUCIO .



CUADRO N° 13

NUMEROS DE CURVA DE ESCORRENTIA PARA SUELOS HIDROLOGICOS (CUBIERTAS COMPLEJAS)
(ANTECEDENTES DE HUMEDAD CON CONDICION II, Y Ia = 0.2 S)

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA, TRATAMIENTO, CONDICION HIDROLOGICA			GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO				
			A	B	C	D	
TAMANOS PROMEDIOS			% PROMEDIO IMPERMEABILIDAD				
1/8 ACRE o MENOS	65		77	85	90	92	
1/4 ACRE	38		61	75	83	87	
1/3 ACRE	30		57	72	81	86	
1/2 ACRE	25		54	70	80	85	
1 ACRE	20		51	68	79	84	
PARQUEOS PAVIMENTADOS, TECHOS Y CAMINOS DE ACCESO			98	98	98	98	
CARRETERAS Y CAMINOS :							
	PAVIMENTADOS		98	98	98	98	
	BALASTRADOS		76	85	89	91	
	DE TIERRA		72	82	87	89	
AREAS COMERCIALES (85 % DE IMPERMEABILIDAD)			89	92	94	95	
DISTRITOS INDUSTRIALES (72 % DE IMPERMEABILIDAD)			81	88	91	93	
ESPACIOS ABIERTOS, ENGRAMADOS, PARQUES, CEMENTERIOS, ETC.							
CONDICION BUENA : HIERVA CUBRE 75 % O MAS DEL AREA			39	61	74	80	
CONDICION REGULAR : HIERVA CUBRE 50 % O MAS DEL AREA			49	69	79	84	
BARBECHO	LINEAS NIVELADAS	-----	77	86	91	94	
LINEAS DE CULTIVOS	LINEAS NIVELADAS	POBRES	72	81	88	91	
	LINEAS NIVELADAS	BUENAS	67	78	85	89	
	CONTORNOS	POBRES	70	79	84	88	
	CONTORNOS	BUENAS	65	75	82	86	
	CONTORNOS Y TERRAZAS	POBRES	66	74	80	82	
	CONTORNOS Y TERRAZAS	BUENAS	62	71	78	81	
GRANOS PEQUEÑOS	LINEAS NIVELADAS	POBRES	65	76	84	88	
		BUENAS	63	75	83	87	
	CONTORNOS	POBRES	63	74	82	85	
		BUENAS	61	73	81	84	
	CONTORNOS Y TERRAZAS	POBRES	61	72	79	82	
		BUENAS	59	70	78	81	
SEMBRADO CERRADOS LEGUMBRES	LINEAS NIVELADAS	POBRES	66	77	85	89	
		BUENAS	58	72	81	85	
ROTACION DE SEMBRADOS	CONTORNOS	POBRES	64	75	83	85	
		BUENAS	55	69	78	83	
PRADOS	CONTORNOS Y TERRAZAS	POBRES	63	73	80	83	
		BUENAS	51	67	76	80	
PASTOS EXTENSOS		POBRE	68	79	86	89	
		REGULAR	49	69	79	84	
		BUENO	39	61	74	80	
		CONTORNOS	POBRE	47	67	81	88
		CONTORNOS	REGULAR	25	59	75	83
		CONTORNOS	BUENO	6	35	70	79
PRADOS		BUENOS	30	58	71	78	
BOSQUES O TIERRA FORESTAL		POBRE	45	66	77	83	
		REGULAR	36	60	73	79	
		BUENO	25	55	70	77	
GRANJAS O HACIENDAS		-----	59	74	82	86	

Fuente : Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS METHODS)

CUADRO N° 14
DATOS PARA EL CALCULO DEL INDICE DE ERODABILIDAD (K)

SUB-CUENCA	% LIMO + % ARENA	% ARENA	% MATERIA ORGANICA	ESTRUCTURA DEL SUELO	PERMEABILIDAD	FACTOR K
SUQUIAPA	55.00	42.00	3.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.37
ACELHUATE	40.00	58.00	2.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.28
GUAJOYO	50.00	46.00	4.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	RAPIDA	0.23
TAMULASCO	35.00	63.00	2.00	BLOCOSO	MODERADA RAPIDA	0.28
TAHUILAPA	55.00	41.00	4.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.32
METAYATE	35.00	63.00	2.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.26
NUNUAPA	45.00	52.00	3.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.26
QUEZALAPA	40.00	58.00	2.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.28
GRANDE DE CHALATE.	40.00	58.00	2.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.28
MOJAFLORES	44.00	53.00	3.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.29
SUCIO	55.00	41.00	4.00	GRANULAR MUY FINO	BAJA	0.32
OSTUA	55.00	42.00	3.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.38
CUSMAPA	52.00	44.00	4.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	RAPIDA	0.24
ANGUE	55.00	41.00	4.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.28
VALLE DEL LEMPA	47.00	51.00	2.00	GRANULAR FINO	BAJA MODERADA	0.36
SOYATE	37.00	61.00	2.00	GRANULAR MEDIO FUERTE	MODERADA RAPIDA	0.25

Fuente : Cuerpo de Ingenieros de la Armada de EE.UU. y Proporcionados por CEL.

CUADRO N° 15
FACTOR DE COBERTURA VEGETAL Y TECNICAS DE CULTIVO (C)

PRACTICA	FACTOR C PROM. ANUAL
SUELO DESNUDO	1
BOSQUE O MATORRAL DENSO, CULTIVOS CON CAPA GRUESA DE MATERIA ORGANICA	0.001
SABANA, PRADERA EN BUENAS CONDICIONES	0.01
SABANA O PRADERA SOBREPASTOREADA	0.1
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO LENTO O SIEMBRA TARDIA:PRIMER AÑO	0.3 a 0.8
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO RAPIDO O SIEMBRA TEMPRANA:PRIMER AÑO	0.01 a 0.1
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO LENTO O SIEMBRA TARDIA:SEGUNDO AÑO	0.01 a 0.1
MAIZ, SORGO, MIJO (EN FUNCION DE PRODUCCION)	0.4 a 0.9
ARROZ(FERTILIZACION INTENSIVA)	0.1 a 0.2
ALGODON, TABACO(SEGUNDO CICLO)	0.5 a 0.7
CACAHUATE(EN FUNCION DE PRODUCCION Y DE FECHA DE PLANTACION)	0.4 a 0.8
PRIMER AÑO DE CASAVE Y ÑAME(EN FUNCION DE LA FECHA DE PLANTACION)	0.01
PALMA, CAFE, CACAO CON CUBIERTA DE CULTIVO	0.1 a 0.3
PIÑA EN CONTORNO(EN FUNCION DE PENDIENTE): RESIDUO QUEMADO	0.2 a 0.5
RESIDUO ENTERRADO	0.1 a 0.3
RESIDUO SUPERFICIAL	0.2 a 0.8
PIÑA Y SIEMBRA DE RELLENO(PENDIENTE DEL 7 POR CIENTO)	0.1

Fuente: "Erosión de Suelos", M.J. Kirkby y R. P. C. Morgan, Editorial John Wiley and Sons Ltd., 1980

CUADRO N° 16

FACTOR DE METODO DE CONTROL DE LA EROSION (P)

PENDIENTE DEL TERRENO %	CULTIVO EN CONTORNO	CULTIVO EN FAJAS DE CONTORNO Y SURCOS IRRIGADOS	TERRACEO
1 - 2	0.6	0.30	0.12
3 - 8	0.5	0.25	0.10
9 - 12	0.6	0.30	0.12
13 - 16	0.7	0.35	0.14
17 - 20	0.8	0.40	0.16
21 - 25	0.9	0.45	0.18

Fuente: "Erosión de Suelos", M.J. Kirkby y R. P. C. Morgan, Editorial John Wiley and Sons Ltd., 1!

CUADRO N° 17

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "

SUBCUENCA DEL RIO : SUQUIAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	31.07	0.25	30.14
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	20.72	0.02	19.48
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	12.09	0.04	11.00
ARBUSTOS Y MATORRALES	0.30	94.00	6.46	0.02	6.07
CAFETALES	0.30	87.00	20.65	0.06	17.97
SUELO ROCOSO	1.00	97.00	1.66	0.02	1.61
CIUDADES	0.90	98.00	5.48	0.05	5.37
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.57	0.01	0.56
CARRETERAS DE TIERRAS	1.00	97.00	1.30	0.01	1.26
			100.00	0.47	93.45

SUQUIAPA

CUADRO N° 18

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN " SUBCUENCA DEL RIO : ACELHUATE

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS Y CAÑALES	0.10	97.00	6.10	0.01	5.92
MATORRALES	0.10	97.00	11.78	0.01	11.43
SUELOS DESNUDOS	1.00	97.00	18.89	0.19	18.32
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	91.00	14.23	0.04	12.95
CAFE	0.30	79.00	14.08	0.04	11.12
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	16.21	0.13	15.72
TIERRAS DESNUDAS	1.00	97.00	0.64	0.01	0.62
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	5.14	0.02	4.68
CIUDADES	0.90	98.00	11.05	0.10	10.83
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	1.11	0.01	1.09
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.77	0.01	0.75
			100.00	0.56	93.43

ACELHUAT

CUADRO N° 19

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : GUAJOYO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	64.10	0.51	62.18
MATORRALES DE LADERA	0.10	97.00	7.36	0.01	7.14
ARBUSTOS Y MATORRALES	0.30	91.00	12.74	0.04	11.59
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	8.21	0.02	7.47
CAFETALES	0.30	91.00	1.58	0.00	1.44
AFLORAMIENTOS ROCOSOS	0.90	97.00	1.84	0.02	1.78
CULTIVOS ANUALES	0.80	97.00	1.90	0.02	1.84
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.67	0.01	0.66
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.91	0.01	0.88
CIUDADES	0.90	98.00	0.69	0.01	0.68
			100.00	0.64	95.66

GUAJOYO

CUADRO N° 20

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : TAMULASCO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
PASTOS	0.10	97.00	9.71	0.01	9.42
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	97.00	50.11	0.45	48.61
PASTOS MEJORADOS	0.10	94.00	6.49	0.01	6.10
BOSQUES NATURALES	0.00	94.00	8.80	0.00	8.27
PASTOS CON BOSQUES DISPERSOS	0.01	94.00	8.74	0.00	8.22
PASTO NATURAL CON MALEZA	0.10	97.00	7.26	0.01	7.04
PASTO NATURAL CON MATORRALES	0.10	97.00	5.43	0.01	5.27
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.78	0.01	0.76
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	1.68	0.02	1.63
CIUDADES	0.90	98.00	1.00	0.01	0.98
			100.00	0.51	96.30

TAMULASC

CUADRO N° 21

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "

SUBCUENCA DEL RIO : TAHUILAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	37.65	0.30	36.52
MATORRALES	0.10	97.00	21.29	0.02	20.65
CONIFERAS	0.00	94.00	6.04	0.00	5.68
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	8.23	0.02	7.49
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	87.00	7.35	0.02	6.39
SUELO DESNUDO (ROCOSO)	1.00	97.00	6.12	0.06	5.94
PASTOS NATURALES	0.01	97.00	12.08	0.00	11.72
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	1.24	0.01	1.20
			100.00	0.44	95.59

TAHUILAP

CUADRO N° 22

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : METAYATE

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	13.90	0.01	13.07
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	91.00	17.02	0.05	15.49
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	10.00	0.03	9.10
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	94.00	43.77	0.39	41.14
PASTOS MEJORADOS	0.10	97.00	9.10	0.01	8.83
ARBOLES DISPERSOS	0.80	91.00	1.58	0.01	1.44
CULTIVOS PERMANENTES	0.80	91.00	2.85	0.02	2.59
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.48	0.00	0.47
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.80	0.01	0.78
POBLADOS	0.90	98.00	0.50	0.00	0.49
			100.00	0.55	93.39

METAYATE

CUADRO N° 23

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : NUNUAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
BOSQUE VERDE	0.00	94.00	36.64	0.00	34.44
BOSQUE SECO	0.01	97.00	39.48	0.00	38.30
ARBUSTOS	0.30	94.00	7.68	0.02	7.22
MATORRALES	0.30	97.00	11.15	0.03	10.82
PASTIZALES	0.10	94.00	2.44	0.00	2.29
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.65	0.01	0.64
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.50	0.01	0.49
SUELOS SIN VEGETACION	1.00	98.00	1.16	0.01	1.14
POBLADOS	0.90	98.00	0.30	0.00	0.29
			100.00	0.09	95.62

NUNUAPA

CUADRO N° 24

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : QUEZALAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS NATURALES	1.00	94.00	17.71	0.18	16.65
TIERRAS DESNUDAS	0.10	97.00	28.80	0.03	27.94
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	94.00	18.97	0.06	17.83
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	94.00	16.95	0.05	15.93
CULTIVO DE CEREALES	0.70	97.00	13.16	0.09	12.77
CARRETERAS	0.90	98.00	2.63	0.02	2.58
CIUDADES	0.90	98.00	1.79	0.02	1.75
			100.00	0.45	95.45

QUEZALAPA

CUADRO N° 25

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : GRANDE DE CHALATENANGO.

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	25.99	0.03	24.43
MATORRALES	0.10	91.00	12.72	0.01	11.58
CULTIVOS LIMPIOS	0.80	94.00	48.35	0.39	45.45
BOSQUES	0.00	91.00	3.78	0.00	3.44
SUELOS ROCOSOS	0.90	97.00	2.71	0.02	2.63
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	91.00	3.22	0.01	2.93
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	3.22	0.01	2.93
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.00	0.00	0.00
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.01	0.00	0.01
CIUDADES	0.90	98.00	0.00	0.00	0.00
			100.00	0.47	93.39

GRAN-CHA

CUADRO N° 26

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : MOJAFLORES

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	97.00	30.74	0.28	29.82
PASTOS Y MALEZAS	0.10	97.00	18.04	0.02	17.50
PASTOS MEJORADOS	0.10	94.00	16.56	0.02	15.57
BOSQUES NATURALES	0.00	91.00	22.59	0.00	20.56
ARBUSTOS Y MALEZAS	0.30	91.00	9.64	0.03	8.77
CARRETERAS	0.90	98.00	1.62	0.01	1.59
CIUDADES	0.90	98.00	0.81	0.01	0.79
			100.00	0.36	94.59

Fuente : Imagen LANSAT V, Sistema ERDAS, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)

CUADRO N° 27

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "

SUBCUENCA DEL RIO : SUCIO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	98.00	34.73	0.28	34.04
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	87.00	15.22	0.05	13.24
MATORRALES	0.10	97.00	11.41	0.01	11.07
LAVAS	0.90	91.00	4.50	0.04	4.10
CAFETALES	0.30	87.00	21.91	0.07	19.06
PASTOS NATURALES	0.01	94.00	6.95	0.00	6.53
CIUDADES	0.90	98.00	2.21	0.02	2.17
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	87.00	1.58	0.00	1.37
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.69	0.01	0.68
CARRETERAS DE TIERRAS	1.00	97.00	0.80	0.01	0.78
			100.00	0.48	93.03

SUCIO

CUADRO N° 28

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN " .
 SUBCUENCA DEL RIO : OSTUA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
BOSQUE VERDE	0.00	94.00	23.60	0.00	22.18
BOSQUE SECO	0.01	97.00	18.12	0.00	17.58
ARBUSTOS	0.30	91.00	13.80	0.04	12.56
MATORRALES	0.30	97.00	30.29	0.09	29.38
PASTIZALES	0.10	94.00	9.34	0.01	8.78
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.43	0.00	0.42
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.38	0.00	0.37
SUELOS SIN VEGETACION	1.00	98.00	3.66	0.04	3.59
POBLADOS	0.90	98.00	0.38	0.00	0.37
			100.00	0.19	95.23

Fuente : Imagen LANSAT V, Sistema ERDAS, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)

OSTUA

CUADRO N° 29

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : CUSMAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
BOSQUE VERDE	0.00	91.00	7.47	0.00	6.80
BOSQUE SECO	0.01	97.00	37.95	0.00	36.81
ARBUSTOS	0.30	91.00	11.14	0.03	10.14
MATORRALES	0.30	97.00	30.48	0.09	29.57
PASTIZALES	0.10	94.00	11.62	0.01	10.92
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.10	0.00	0.10
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.01	0.00	0.01
SUELOS SIN VEGETACION	1.00	98.00	1.17	0.01	1.15
POBLADOS	0.90	98.00	0.06	0.00	0.06
			100.00	0.15	95.55

CUSMAPA

Fuente : Imagen LANSAT V, Sistema ERDAS, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)

CUADRO N° 30

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : ANGUE

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
BOSQUE VERDE	0.00	91.00	5.41	0.00	4.92
BOSQUE SECO	0.01	97.00	33.66	0.00	32.65
ARBUSTOS	0.30	91.00	15.16	0.05	13.80
MATORRALES	0.30	97.00	28.81	0.09	27.95
PASTIZALES	0.10	94.00	13.67	0.01	12.85
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.05	0.00	0.05
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.02	0.00	0.02
SUELOS SIN VEGETACION	1.00	98.00	3.20	0.03	3.14
POBLADOS	0.90	98.00	0.02	0.00	0.02
			100.00	0.18	95.39

ANGUE

Fuente : Imagen LANSAT V, Sistema ERDAS, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL)

CUADRO N° 31

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : SOYATE

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTO CON MATORRAL	0.10	94.00	23.24	0.02	21.85
MATORRAL	0.10	94.00	20.36	0.02	19.14
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	94.00	32.92	0.30	30.94
RODALES Y BOSQUES SECOS	0.01	97.00	3.05	0.00	2.96
PASTO NATURAL Y MALEZA	0.10	94.00	5.43	0.01	5.10
MATORRALES CON MALEZA	0.10	94.00	11.22	0.01	10.55
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	1.22	0.00	1.15
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	1.22	0.01	1.20
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.85	0.01	0.82
POBLADOS	0.90	98.00	0.49	0.00	0.48
			100.00	0.38	94.19

SOYATE

CUADRO N° 32

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : VALLE DEL LEMPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	98.00	42.00	0.34	41.16
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	17.00	0.02	15.98
VEGETACION LATIFOLEADA	0.30	91.00	10.15	0.03	9.24
ARBUSTOS Y MATORRALES	0.30	94.00	14.56	0.04	13.69
SUELOS ROCOSOS	1.00	97.00	1.75	0.02	1.70
BOSQUES	0.00	94.00	11.31	0.00	10.63
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.73	0.01	0.72
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.75	0.01	0.73
POBLADOS	0.90	98.00	1.75	0.02	1.72
			100.00	0.47	95.55

VAL-LEMP

CUADRO N° 33

DATOS PARA EL CALCULO DE PERDIDA DE SUELO .

NOMBRE DE SUB-CUENCA	K	C	P	LS	V (M3.)	Qp. (M3./SEG.)	MUSLE (TON/EVNT)
SUQUIAPA	0.37	0.47	0.90	8.50	5,149.03	268.77	43,138.10
ACELHUATE	0.28	0.56	0.80	7.00	10,619.58	278.59	43,572.68
GUAJOYO	0.23	0.64	0.75	8.20	4,199.01	201.47	22,283.41
TAMULASCO	0.28	0.51	0.90	14.50	1,911.03	185.25	28,162.95
TAHUILAPA	0.32	0.44	0.90	18.00	3,033.85	277.13	55,952.50
METAYATE	0.26	0.55	0.60	3.50	2,484.55	155.28	4,762.20
NUNUAPA	0.26	0.09	0.90	9.00	639.57	105.67	1,133.16
QUEZALAPA	0.28	0.45	0.90	11.00	4,246.81	280.17	37,167.28
GRANDE DE CHALATENANGO	0.28	0.47	0.70	4.70	12,674.00	866.21	44,774.85
MOJAFLORES	0.29	0.36	0.80	8.00	810.58	102.67	4,488.51
SUCIO	0.32	0.48	0.70	6.00	16,944.45	321.18	45,035.52
OSTUA	0.38	0.19	0.60	3.50	65,830.06	851.55	39,072.71
CUSMAPA	0.24	0.15	0.90	9.50	2,333.52	200.62	5,439.59
ANGUE	0.28	0.18	0.70	3.80	5,102.13	337.77	4,915.46
SOYATE	0.25	0.38	0.70	5.00	969.62	107.74	2,536.83
VALLE DEL LEMPA	0.36	0.47	0.70	5.00	34,649.05	661.54	43,138.10
TOTAL							425,573.87

CUADRO N° 39
VOLUMEN UTIL ENTRE SECCIONES DE CONTROL.

HASTA LA COTA : 243 M.S.N.M.

FECHA : FEBRERO DE 1979

SECCION	AREA SECCION M2	AREA PROMEDIO ENTRE SECCIONES M2.	DISTANCIA ENTRE SECCIONES M.	VOLUMEN ENTRE SECCIONES M3.
1A - 1A	543.74			
		4,421.31	2,380.95	10,526,918.04
2A - 2A	8,298.88			
		5,839.26	2,000.00	11,678,520.00
3 - 3	3,379.64			
		14,360.52	3,571.43	51,287,591.94
4 - 4	25,341.40			
		33,181.41	3,100.00	102,862,371.00
5 - 5	41,021.42			
		53,487.16	2,500.00	133,717,900.00
6 - 6	65,952.90			
1B - 1B	1,271.78			
		6,228.47	2,857.14	17,795,610.78
2B - 2B	11,185.16			
1 - 1	972.92			
		7,757.00	3,571.43	27,703,582.51
2 - 2	14,541.08			
		8,960.36	2,500.00	22,400,900.00
3 - 3	3,379.64			
VOLUMEN UTIL TOTAL :				377,973,394.27

VOLUMEN

Fuente : COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA (CEL)

CUADRO N° 40
VOLUMEN UTIL ENTRE SECCIONES DE CONTROL.

HASTA LA COTA : 243 M.S.N.M.
 FECHA : 1992

SECCION	AREA SECCION M2.	AREA PROMEDIO ENTRE SECCIONES M2.	DISTANCIA ENTRE SECCIONES M.	VOLUMEN ENTRE SECCIONES M3.
1A - 1A	350.02			
		3,578.70	2,380.95	8,520,705.76
2A - 2A	6,807.37			
		4,653.85	2,000.00	9,307,700.00
3 - 3	2,500.33			
		8,029.57	3,571.43	28,677,047.19
4 - 4	13,558.80			
		23,238.90	3,100.00	72,040,574.50
5 - 5	32,918.99			
		49,930.53	2,500.00	124,826,312.50
6 - 6	66,942.06			
1B - 1B	1,103.67			
		6,036.64	2,857.14	17,247,525.61
2B - 2B	10,969.61			
1 - 1	487.96			
		3,140.28	3,571.43	11,215,272.34
2 - 2	5,792.59			
		4,146.46	2,500.00	10,366,150.00
3 - 3	2,500.33			
VOLUMEN UTIL TOTAL :				282,201,287.90

VOLUMEN

Fuente : Grupo de tesis "ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION EN EL EMBALSE DEL CERRON GRANDE"

CUADRO No. 41

CALCULO DEL SEDIMENTO DEPOSITADO EN EL
EMBALSE DEL CERRON GRANDE (1979 - 1992).

HASTA LA COTA : 243 M.S.N.M.

SECCION	AREA SECCION M2		AREA PROMEDIO ENTRE SECCIONES M2		DISTANCIA ENTRE SECCIONES M.	VOLUMEN U.T.I.L MM3		SEDIMENTO 1992 MM3
	1979	1992	1979	1992		1979	1992	
1A - 1A	543.74	350.02						
			4,421.31	3,578.70	2,380.95	10.53	8.52	2.01
2A - 2A	8,298.88	6,807.37						
			5,839.26	4,653.85	2,000.00	11.68	9.31	2.37
3 - 3	3,379.64	2,500.33						
			14,360.52	8,029.57	3,571.43	51.29	28.68	22.61
4 - 4	25,341.40	13,558.80						
			33,181.41	23,238.90	3,100.00	102.86	72.04	30.82
5 - 5	41,021.42	32,918.99						
			53,487.16	49,930.53	2,500.00	133.72	124.83	8.89
6 - 6	65,952.90	66,942.06						
1B - 1B	1,271.78	1,103.67						
			6,228.47	6,036.64	2,857.14	17.80	17.25	0.55
2B - 2B	11,185.16	10,969.61						
1 - 1	972.92	487.96						
			7,757.00	3,140.28	3,571.43	27.70	11.22	16.49
2 - 2	14,541.08	5,792.59						
			8,960.36	4,146.46	2,500.00	22.40	10.37	12.03
3 - 3	3,379.64	2,500.33						
VOLUMENES TOTALES :						377.97	282.20	95.77

VOLUMEN2

NOTA :

Las diferencias entre los volúmenes útiles entre las secciones de control, han sido consideradas, en este trabajo de graduación, como los volúmenes de sedimento depositados entre las mismas durante el período 1979 - 1992 .

CUADRO No. 42
PERDIDA ECONOMICAS POR SUSTITUCION DE ENERGIA
HIDROELECTRICA CON ENERGIA TERMICA.
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "

AÑO	SEDIMENTOS M3.	PERDIDAS DE ENERGIA KWH	COSTO EN COLONES
1976			
	7,367,085.11	57,315,922.12	4,585,273.77
1977			
	14,734,170.22	114,631,844.28	9,170,547.54
1978			
	22,101,255.33	171,947,766.43	13,755,821.31
1979			
	29,468,340.44	229,263,688.59	18,341,095.09
1980			
	36,835,425.55	286,579,610.74	22,926,368.86
1981			
	44,202,510.66	343,895,532.90	27,511,642.63
1982			
	51,569,595.77	401,211,455.05	32,096,916.40
1983			
	58,936,680.88	458,527,377.21	36,682,190.18
1984			
	66,303,765.99	515,843,299.37	61,901,195.92
1985			
	73,670,851.10	573,159,221.52	68,779,106.58
1986			
	81,037,936.21	630,475,143.68	75,657,017.24
1987			
	88,405,021.32	687,791,065.83	82,534,927.90
1988			
	95,772,106.43	745,106,987.99	156,472,467.48
1989			
	103,139,191.54	802,422,910.15	168,508,811.13
1990			
	110,506,276.65	859,738,832.30	180,545,154.78
1991			
	117,873,361.76	917,054,754.46	330,139,711.60
1992			
TOTAL			1,289,608,248.43

PERD-ECO

RENDIMIENTO PROMEDIO DE LA C.H. DEL CERRON GRANDE = 7.78 Kw-h/M3.
 RENDIMIENTO DE LAS CENTRALES TERMICAS = 11.07 Kw-h/Gal.
 COSTO COMERCIAL DEL Kw-h. = ¢ 0.36 (Para el año de 1992)

Fuente : Centro de Operaciones del Sistema (COS), CEL .

CUADRO N° 43

PARAMETROS FISICOS RIOS ZONA NORTE EMBALSE CERRON GRANDE .

PARAMETROS FISICOS	Area (Km ²)	L.C. (Km)	Hmax. (m.s.n.m.)	Hmin. (m.s.n.m.)	Tipos de Suelo	Smax. (%)	Tipo de Vegetación	Coef. de Escorrentia (C)	TC (Horas)	Q Diseño (M3/Seg.)
RIOS										
TAMULASCO	93.75	18.00	1,643.48	425.97	Semipermeable	12.57	Ligera, Matorral	0.45	1.34	340.00
METAYATE	112.00	19.50	1,100.00	850.00	Semipermeable	3.31	Ligera, Matorral	0.37	1.50	275.00
GRANDE DE TILAPA	103.00	27.00	1,200.00	550.00	Semipermeable	6.40	Ligera, Matorral	0.40	2.00	250.00
AZAMBIO	58.34	18.00	1,090.00	277.00	Semipermeable	10.62	Ligera, Matorral	0.43	1.57	160.00
ZOYATE	66.67	21.00	700.00	264.00	Semipermeable	5.34	Ligera, Matorral	0.40	2.12	115.00
POTRERO	36.67	16.50	520.00	247.00	Semipermeable	4.51	Ligera, Matorral	0.40	1.85	80.00
LAS MINAS	20.00	9.00	397.00	268.00	Semipermeable	2.90	Ligera, Matorral	0.38	1.16	45.00
MOTACHICO	28.69	12.00	1,400.00	243.00	Semipermeable	21.60	Ligera, Matorral	0.45	0.96	40.00
ZACUAPA	14.17	7.50	373.00	251.00	Semipermeable	3.24	Ligera, Matorral	0.37	2.14	40.00
SAN MIGUELITO	16.60	6.00	500.00	320.00	Semipermeable	4.42	Ligera, Matorral	0.40	0.75	40.00
CHACAHUACA	16.70	6.60	362.00	258.00	Semipermeable	2.54	Ligera, Matorral	0.40	0.93	35.00

ZONA-NOR

CUADRO N° 44 (1/2)

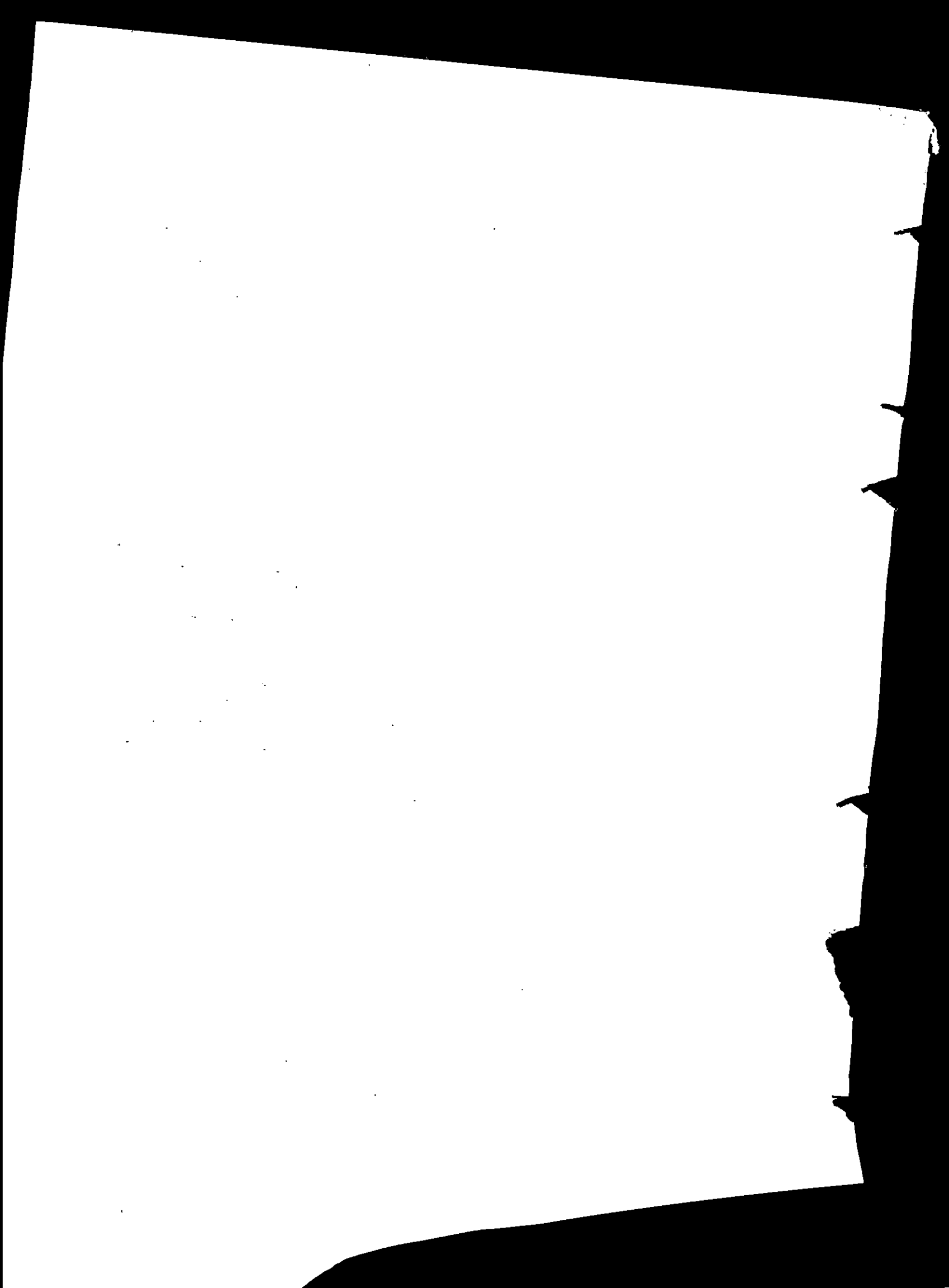
DIMENSIONES DE DIQUES DE LA ZONA NORTE EMBALSE DEL CERRON GRANDE

DIMENSIONES DEL DIQUE	Q Diseño (M ³ /Seg.)	Ancho del Cauce (Mts.)	Altura del Dique (Mts.)	Ancho del Dique (Mts.)	Largo del Dique (Mts.)	Profundidad Cimentación (Mts.)	Altura del Vertedero (Mts.)	Altura del Contra Dique (Mts.)	Alt. Vertedero Contra Dique (Mts.)	Ancho del Contra Dique (Mts.)
RIOS										
TAMULASCO	340.00	25.00	5.00	3.50	27.00	2.25	4.50	4.00	2.00	2.00
METAYATE	275.00	22.00	4.00	3.00	24.00	1.50	4.00	3.50	1.50	2.00
GRANDE DE TILAPA	250.00	22.00	4.00	3.00	24.00	1.50	4.00	3.50	1.50	2.00
AZAMBIO	160.00	18.00	3.00	2.50	20.00	1.50	3.00	2.50	1.00	2.00
ZOYATE	115.00	18.00	3.00	2.50	20.00	1.50	3.00	2.50	1.00	2.00
POTRERO	80.00	18.00	3.00	2.50	20.00	1.50	3.00	2.50	1.00	2.00
LAS MINAS	45.00	14.00	2.00	2.00	14.00	1.00	2.00	1.70	1.00	1.00
MOTACHICO	40.00	14.00	2.00	2.00	14.00	1.00	2.00	1.70	1.00	1.00
ZACUAPA	40.00	14.00	2.00	2.00	14.00	1.00	2.00	1.70	1.00	1.00
SAN MIGUELITO	40.00	14.00	2.00	2.00	14.00	1.00	2.00	1.70	1.00	1.00
CHACAHUACA	35.00	14.00	2.00	2.00	14.00	1.00	2.00	1.70	1.00	1.00

CUADRO N° 44 (2/2)
 DIMENSIONES DE DIQUES DE LA ZONA NORTE EMBALSE DEL CERRON GRANDE

DIMENSIONES DEL DIQUE	Largo del ContraDique (Mts.)	Prof. Cimentación ContraDique (Mts.)	Largo Vertedero ContraDique (Mts.)	Largo del Delantal (Mts.)	Ancho del Delantal (Mts.)	Profundidad del Delantal (Mts.)
RIOS						0.50
TAMULASCO	25.00	2.25	22.00	27.00	25.00	0.50
METAYATE	22.00	1.50	20.00	24.00	22.00	0.50
GRANDE DE TILAPA	22.00	1.50	20.00	24.00	22.00	0.50
AZAMBIO	18.00	1.50	14.00	5.00	18.00	0.50
ZOYATE	18.00	1.50	14.00	5.00	18.00	0.50
POTRERO	18.00	1.50	14.00	5.00	18.00	0.50
LAS MINAS	12.00	0.70	12.00	12.00	12.00	0.50
MOTACHICO	12.00	0.70	12.00	12.00	12.00	0.50
ZACUAPA	12.00	0.70	12.00	12.00	12.00	0.50
SAN MIGUELITO	12.00	0.70	12.00	12.00	12.00	0.50
CHACAHUACA	12.00	0.70	12.00	12.00	12.00	0.50

DIQ-NOR3



CUADRO N° 45
COSTO POR M3. DE GAVION

1) MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (c)
MALLA CICLON	M2.	6.00	43.11	258.66
PIEDRA EN BRUTO	M3.	1.00	90.00	90.00
CEMENTO	Bol.	0.05	32.00	1.60
CUARTON	Vrs.	5.00	8.50	42.50
TABLA	Vrs.	5.00	10.50	52.50
COSTANERA	Vrs.	1.50	4.00	6.00
CLAVOS 4"	Lbs.	2.00	3.00	6.00
TOTAL				457.26

2) MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UNIDAD	SALARIO POR DIA (c)	RENDIM. POR DIA	TOTAL (c)
MAESTRO DE OBRA	1.00	100.45	0.75	75.34
ALBAÑIL	1.00	63.57	0.75	47.68
AUXILIARES	2.00	53.84	0.75	40.38
TOTAL				163.40

3) HERRAMIENTAS

5 % DE LA MANO DE OBRA

8.17

4) TRANSPORTE

100.00

5) IMPREVISTOS (10 %)

72.88

6) COSTOS INDIRECTOS (45 %)

360.77

TOTAL GENERAL

1,162.48

GAVION

CUADRO N° 46
VOLUMENES Y COSTOS TOTALES DE LOS DIQUES

DIMENSIONES DEL DIQUE RIOS	VOLUMEN DIQUE (M3.)	VOLUMEN CONTRADIQUE (M3.)	VOLUMEN VERTEDERO DIQUE (M3.)	VOLUMEN VERTEDERO CONTRADIQUE (M3.)	VOLUMEN DELANTAL (M3.)	VOLUMEN TOTAL OBRA (M3.)	COSTO TOTAL OBRA ¢
TAMULASCO	685.13	312.50	425.25	88.00	337.50	1,848.38	2,148,698.97
METAYATE	396.00	220.00	288.00	60.00	264.00	1,228.00	1,427,525.44
GRANDE DE TILAPA	396.00	220.00	288.00	60.00	264.00	1,228.00	1,427,525.44
AZAMBIO	225.00	144.00	150.00	28.00	45.00	592.00	688,188.16
ZOYATE	225.00	144.00	150.00	28.00	45.00	592.00	688,188.16
POTRERO	225.00	144.00	150.00	28.00	45.00	592.00	688,188.16
LAS MINAS	84.00	28.80	56.00	12.00	72.00	252.80	293,874.94
MOTACHICO	84.00	28.80	56.00	12.00	72.00	252.80	293,874.94
ZACUAPA	84.00	28.80	56.00	12.00	72.00	252.80	293,874.94
SAN MIGUELITO	84.00	28.80	56.00	12.00	72.00	252.80	293,874.94
CHACAHUACA	84.00	28.80	56.00	12.00	72.00	252.80	293,874.94
GRAN TOTAL							8,537,689.05

CUADRO N° 47
ANALISIS FINANCIERO ALTERNATIVA DIQUES.

AÑO	AMORTIZACION A CAPITAL	SALDO A CAPITAL	INTERESES	TOTAL A PAGAR (EGRESOS)	INGRESOS	FLUJO EFFECTIVO
1		8,537,689.05	683,015.12	683,015.12	206,337.32	(476,677.80)
2	294,403.07	8,243,285.98	659,462.88	953,865.95	412,674.64	(541,191.31)
3	294,403.07	7,948,882.91	635,910.63	930,313.70	619,011.96	(311,301.74)
4	294,403.07	7,654,479.84	612,358.39	906,761.46	825,349.28	(81,412.18)
5	294,403.07	7,360,076.77	588,806.14	883,209.21	1,031,686.60	148,477.39
6	294,403.07	7,065,673.70	565,253.90	859,656.97	1,238,023.92	378,366.95
7	294,403.07	6,771,270.63	541,701.65	836,104.72	1,444,361.24	608,256.52
8	294,403.07	6,476,867.56	518,149.40	812,552.48	1,650,698.56	838,146.08
9	294,403.07	6,182,464.48	494,597.16	789,000.23	1,857,035.88	1,068,035.65
10	294,403.07	5,888,061.41	471,044.91	765,447.98	2,063,373.20	1,297,925.22
11	294,403.07	5,593,658.34	447,492.67	741,895.74	2,269,710.52	1,527,814.78
12	294,403.07	5,299,255.27	423,940.42	718,343.49	2,476,047.84	1,757,704.35
13	294,403.07	5,004,852.20	400,388.18	694,791.25	2,682,385.16	1,987,593.91
14	294,403.07	4,710,449.13	376,835.93	671,239.00	2,888,722.48	2,217,483.48
15	294,403.07	4,416,046.06	353,283.68	647,686.76	3,095,059.80	2,447,373.04
16	294,403.07	4,121,642.99	329,731.44	624,134.51	3,301,397.12	2,677,262.61
17	294,403.07	3,827,239.92	306,179.19	600,582.26	3,507,734.44	2,907,152.18
18	294,403.07	3,532,836.85	282,626.95	577,030.02	3,714,071.76	3,137,041.74
19	294,403.07	3,238,433.78	259,074.70	553,477.77	3,920,409.08	3,366,931.31
20	294,403.07	2,944,030.71	235,522.46	529,925.53	4,126,746.40	3,596,820.87
21	294,403.07	2,649,627.64	211,970.21	506,373.28	4,333,083.72	3,826,710.44
22	294,403.07	2,355,224.57	188,417.97	482,821.04	4,539,421.04	4,056,600.00
23	294,403.07	2,060,821.49	164,865.72	459,268.79	4,745,758.36	4,286,489.57
24	294,403.07	1,766,418.42	141,313.47	435,716.54	4,952,095.68	4,516,379.14
25	294,403.07	1,472,015.35	117,761.23	412,164.30	5,158,433.00	4,746,268.70
26	294,403.07	1,177,612.28	94,208.98	388,612.05	5,364,770.32	4,976,158.27
27	294,403.07	883,209.21	70,656.74	365,059.81	5,571,107.64	5,206,047.83
28	294,403.07	588,806.14	47,104.49	341,507.56	5,777,444.96	5,435,937.40
29	294,403.07	294,403.07	23,552.25	317,955.32	5,983,782.28	5,665,826.96
30	294,403.07	0.00	0.00	294,403.07	6,190,119.60	5,895,716.53
TOTAL						77,163,937.89

DIQS-FIN

VALOR ACTUAL NETO (VAN) 15,375,341.11

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) 0.82 %

RELACION BENEFICIO - COSTO 5.11

CUADRO N° 48
DISTRIBUCION DE LAS CLASES DE TIERRA POR SU
CAPACIDAD DE USO EN LAS AREAS DE ESTUDIO .

CLASES	HECTAREAS	%
II	1,662.00	0.49
III	16,336.00	4.77
IV	19,818.00	5.79
V	7,102.00	2.07
VI	26,490.00	7.73
VII	191,208.00	55.83
VIII	58,258.00	17.01
AGUA	18,630.00	5.44
POBLADOS	2,996.00	0.87
TOTAL	342,500.00	100.00

CUADRO N° 49
USO DE LA TIERRA EN EL AREA DE ESTUDIO .

USO ACTUAL	AREA (HECTAREAS)	%
CAÑA DE AZUCAR	960.00	0.28
ARROZ	368.00	0.11
CEREALES	36,856.00	10.76
CAFE	240.00	0.07
OTROS FRUTALES	722.00	0.21
BOSQUES CONIFEROS	27,522.00	8.04
BOSQUES LATIFOLIADOS	11,228.00	3.28
VEGETACION ARBUSTATIVA	1,024.00	0.30
PASTO NATURAL Y MATORRAL	241,554.00	70.53
POBLADOS	2,996.00	0.87
AGUA	18,630.00	5.44
ZONAS ARIDAS	400.00	0.12
TOTAL	342,500.00	100.00

USO-SUEL

Fuente : Imagenes de Satélite LANDSAT V, C.E.L.

CUADRO N° 50

I. INSUMOS

Sistema de Costos Unitarios

COSTOS DE REFORESTACION / HECTAREA.

EXTENSION A REFORESTAR : MODULO DE 30 Has.

Especies Forestales a Cultivar :

- * Magium 5.00 Ha.
- * Flor Amarilla 10.00 Ha.
- * Almendro de Río y Maquilishuat 15.00 Ha.

DESCRIPCION	CLASE	CANTIDAD Ha.	PRECIO UNITARIO	TOTAL/Ha.
Fertilizantes	Fórmula 16-20-00 (En Kgs.)	50.00	2.10	105.05
	Sulfato de Amonio (En Kgs.)	50.00	1.37	68.50
Insecticidas	Volaton Granulado (En Kgs.) 2.5 %	28.00	12.32	344.96
	Mirex	1.30	44.00	57.20
Alambre de Púas	Rollo	2.50	140.00	350.00
Grapas / Cerco		7.00	3.25	22.75
Postes / Cerco	Unidad	100.00	3.00	300.00
Corte / Postes y Estacas		180.00	0.40	72.00
TOTAL				1,320.46
Herramientas				104.10

CUADRO N° 51
 II. MANO DE OBRA
 EL SALARIO/DIA/HOMBRE CON PRESTACIONES ¢ 36.90

N°	ACTIVIDADES	CANTIDAD D / H / Ha.	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL / Ha.
1	PREPARACION DEL TERRENO	50.00	36.90	1,845.10
2	TRAZO Y MARQUEO	7.00	36.90	258.31
3	AHOYADO (30x30x30)	20.00	36.90	738.04
4	TRANSPORTE INTERNO	2.00	36.90	73.80
5	ACARREO DE PLANTAS	9.00	36.90	332.12
6	SIEMBRA, FERT. Y APLIC. INSECT.	18.00	36.90	664.23
7	PRIMERA LIMPIA	25.00	36.90	922.55
8	RESIEMBRA (10% DE PERDIDA)	2.00	36.90	73.80
9	SEGUNDA LIMPIA	25.00	36.90	922.55
10	PLAZOLEO	0.00	36.90	0.00
11	SEGUNDA FERTILIZACION	3.00	36.90	110.71
12	CONTROL FITOSANITARIO	1.00	36.90	36.90
13	CERCADO	7.00	36.90	258.31
	TOTAL	169.00	36.90	6,236.42

REFORES2

CUADRO N° 52
 III. COSTO DE ADMINISTRACION DE CAMPO DEL PROYECTO FORESTAL
 PARA UNA HECTAREA .

FUNCION	# PERSONAS	SALARIO / Ha.
CAPORALES	0.50	621.60
PLANILLEROS	1.00	150.00
ADMINISTRADOR DE CAMPO	1.00	270.00
TOTAL		1,041.60

REFORES3

CUADRO N° 53
 IV. COSTO DE TRANSPORTE POR Ha.

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
INSUMOS QQ.	3.00	6.00	18.00
PLANTAS (CAMIONADAS)	1.00	600.00	600.00
TOTAL			618.00

REFORES3

CUADRO N° 54
 V. TOTAL DE COSTOS DIRECTOS

DESCRIPCION	COSTO TOTAL / Ha.
INSUMOS	1,320.46
MANO DE OBRA	6,236.42
ADMINISTRACION DE CAMPO	1,041.60
TRANSPORTE	618.00
HERRAMIENTAS	104.10
TOTAL	9,320.58

REFORES3

CUADRO N° 55
VI. TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS.

DESCRIPCION	% POR COSTOS DIRECTOS	COSTOS DIRECTOS	TOTAL
GASTOS GENERALES	0.45	9,320.58	4,194.26
TOTAL			4,194.26

REFORES4

CUADRO N° 56
VII. COSTO POR Ha. Y COSTO POR EL PROYECTO DE 30 Has.

DESCRIPCION	COSTO / Ha.	COSTO / Ha. 30 Ha.
INSUMOS	1,327.76	39,832.80
MANO DE OBRA	6,236.42	187,092.60
ADMINISTRACION DE CAMPO	1,041.60	31,248.00
TRANSPORTE	618.00	18,540.00
GASTOS GENERALES	4194.26	125,827.80
HERRAMIENTAS	104.10	3,123.00
TOTAL	13,522.14	405,664.20

REFORES4

CUADRO N° 57**COSTO POR COSECHA DE 30.00 HECTAREAS DE LEÑA Y MADERA.**

COSECHA	AÑOS	COSTO / Ha. COSECHA	COSTO / Ha. MANTENIM.	HECTAREAS A COSECHAR	COSTO TOTAL MANT.+COSECHA
PRIMERA	6°	400.00	1,600.00	30.00	60,000.00
SEGUNDA	12°	400.00	1,600.00	30.00	60,000.00
TERCERA	16°	400.00	1,600.00	30.00	60,000.00
CUARTA	20°	400.00	1,600.00	30.00	60,000.00

CUADRO N° 58**RENDIMIENTO DE LEÑA COSECHANDO EL
25 % Ha./AÑO DEL CUARTO AÑO EN ADELANTE**

N° PLANTAS	EDAD (AÑOS)	ALTURA (MTS.)	N° DE VARAS	PRECIO / VARAS	INGRESO BRUTO / Ha.
1,600.00	6.00	6.00	9,600.00	8.00	76,800.00
1,600.00	12.00	6.00	9,600.00	8.00	76,800.00
1,600.00	16.00	6.00	9,600.00	8.00	76,800.00
1,600.00	20.00	6.00	9,600.00	8.00	76,800.00

CUADRO N° 59

CALCULO DEL SEDIMENTO QUE NO LLEGARA AL
EMBALSE DEL CERRON GRANDE DEBIDO A LA REFORESTACION.

NOMBRE DE SUB-CUENCA	SIN PROTECCION (TON/EVNT)	SIN PROTECCION TON/AÑO	CON PROTECCION (TON/EVNT)	CON PROTECCION TON/AÑO	DIFERENCIA PERDIDA DE SUELO TON/AÑO
SUQUIAPA	43,138.10	3,839,290.73	30,708.02	2,733,013.78	1,106,276.95
ACELHUATE	43,572.68	3,877,968.81	19,632.38	1,747,281.82	2,130,686.99
GUAJOYO	22,283.41	1,983,223.74	10,615.92	944,816.88	1,038,406.86
TAMULASCO	28,162.95	2,506,502.96	2,035.65	181,172.85	2,325,330.11
TAHUILAPA	23,945.99	2,131,193.11	3,906.33	347,663.37	1,783,529.74
QUEZALAPA	37,167.28	3,307,888.06	10,103.67	899,226.63	2,408,661.43
MOJAFLORES	4,488.51	399,477.55	439.07	39,077.23	360,400.32
SUCIO	45,035.52	4,008,161.68	20,406.93	1,816,216.77	2,191,944.91
	247,794.46	22,053,706.64	97,847.97	8,708,469.33	13,345,237.31

DAT-MUS2

SUELO CONSERVADO POR LA CUENCA DEBIDO A LA REFORESTACION

13,345,237.31 TON / AÑO

SEDIMENTO QUE NO LLEGARA AL

11,121,031.09 M3 / AÑO

EMBALSE DEL CERRON GRANDE DEBIDO A LA REFORESTACION

6,235,562.13 M3 / AÑO

CUADRO N° 60

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : ACELHUATE

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS Y CAÑALES	0.10	97.00	1.10	0.00	1.07
MATORRALES	0.10	97.00	1.78	0.00	1.73
SUELOS DESNUDOS	1.00	97.00	3.89	0.04	3.77
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	91.00	4.23	0.01	3.85
CAFE	0.30	79.00	14.08	0.04	11.12
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	11.21	0.09	10.87
TIERRAS DESNUDAS	1.00	97.00	0.31	0.00	0.30
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	5.14	0.02	4.68
CIUDADES	0.90	98.00	11.05	0.10	10.83
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	1.11	0.01	1.09
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.77	0.01	0.75
BOSQUES	0.00	91.00	45.33	0.00	41.25
			100.00	0.32	91.31

ACELHU-1

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
 * EMBALSE DEL CERRON GRANDE *.
 POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
 SUBCUENCA DEL RIO : ACELIHUATE (VER FIG. No. 86)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA. (V)

Pb = 29 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 24.17 \text{ mm.}$$

$$CN = 91.31$$

$$Pb = 29.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2 s)^2}{Pb + 0.8 s} = 12.08 \text{ mm.} = 8,589.38 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 711.00 Km².

$$Tc = 5.00 \text{ Hrs.} \quad TL = 0.6 Tc = 3.00 \text{ Hrs.}$$

$$V = 12.08 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 326.40 \text{ M3 / SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 225.33 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 7.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 60

$$C = 0.32$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.80$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO ACELIHUATE.

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{19,632.38 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-ACEI

CUADRO N° 61

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : SUQUIAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	24.38	0.20	23.65
PASTOS NATURALES	0.10	94.00	10.72	0.01	10.08
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	2.09	0.01	1.90
ARBUSTOS Y MATORRALES	0.30	94.00	3.46	0.01	3.25
CAFETALES	0.30	87.00	20.65	0.06	17.97
SUELO ROCOSO	1.00	97.00	1.66	0.02	1.61
CIUDADES	0.90	98.00	5.48	0.05	5.37
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.57	0.01	0.56
CARRETERAS DE TIERRAS	1.00	97.00	1.30	0.01	1.26
BOSQUES	0.00	91.00	29.69	0.00	27.02
			100.00	0.37	92.66

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "**

**POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : SUQUIAPA (VER FIG. No. 85)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 25 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 20.12 \text{ mm.}$$

$$CN = 92.66$$

$$Pb = 25.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 10.71 \text{ mm.} = 4,706.48 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 439.60 Km².

$$Tc = \frac{3.64}{\text{Hrs.}} \quad TL = 0.6 Tc = 2.18 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 245.67 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 10.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 169.60 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.37$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.50$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 61

$$C = 0.37$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO SUQUIAPA.

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{30,708.02 \text{ TON / EVENTO}}$$

CUADRO N° 62

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : GUAJOYO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	34.28	0.27	33.25
MATORRALES DE LADERA	0.10	97.00	7.36	0.01	7.14
ARBUSTOS Y MATORRALES	0.30	91.00	7.74	0.02	7.04
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	3.21	0.01	2.92
CAFETALES	0.30	91.00	1.58	0.00	1.44
AFLORAMIENTOS ROCOSOS	0.90	97.00	1.84	0.02	1.78
CULTIVOS ANUALES	0.80	97.00	1.90	0.02	1.84
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.67	0.01	0.66
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	0.91	0.01	0.88
CIUDADES	0.90	98.00	0.69	0.01	0.68
BOSQUES	0.00	91.00	39.82	0.00	36.24
			100.00	0.37	93.87

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".**

**POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : GUAJOYO (VER FIG. No. 87)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 30 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 16.59 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 16.45 \text{ mm.} = 3,532.69 \text{ M3.}$$

CN

CN = 93.87
Pb = 30.00 mm.

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 214.70 Km².

$$Tc = \frac{3.96}{\text{Hrs.}} \quad TL = 0.6 Tc = 2.38 \text{ Hrs.}$$

Si Tc < 4 Hrs.

$$Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 169.50 \text{ M3 / SEG}$$

V = 16.45 mm.

Si Tc ≥ 4 Hrs.

$$Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 117.01 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.23$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.20$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 62

$$C = 0.37$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.75$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO GUAJOYO.

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{10,615.92 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-GUAI

CUADRO N° 63

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : TAMULASCO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
PASTOS	0.10	97.00	1.88	0.00	1.82
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	97.00	5.11	0.05	4.96
PASTOS MEJORADOS	0.10	94.00	1.49	0.00	1.40
BOSQUES NATURALES	0.00	91.00	82.63	0.00	75.19
PASTOS CON BOSQUES DISPERSOS	0.01	94.00	3.74	0.00	3.52
PASTO NATURAL CON MALEZA	0.10	97.00	1.26	0.00	1.22
PASTO NATURAL CON MATORRALES	0.10	97.00	0.43	0.00	0.42
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.78	0.01	0.76
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	1.68	0.02	1.63
CIUDADES	0.90	98.00	1.00	0.01	0.98
			100.00	0.09	91.90

TAMULA-1

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "
POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
-- SUB CUENCA DEL RIO : TAMULASCO (VER FIG. No. 88)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 15 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 22.39 \text{ mm.}$$

CN = 91.90
Pb = 15.00 mm.

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 3.36 \text{ mm.} = 861.30 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 256.00 Km².

$$Tc = \frac{1.96 \text{ Hrs.}}{TL} = 1.18 \text{ Hrs.}$$

V = 3.36 mm.

Si Tc < 4 Hrs. $Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 83.49 \text{ M3 / SEG}$

Si Tc ≥ 4 Hrs. $Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 57.64 \text{ M3 / SEG}$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

K = 0.28

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

LS = 14.50

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 63

C = 0.09

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

P = 0.90

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO TAMULASCO .

A = 11.8 (V * Qp) ^ 0.56 * K * LS * C * P = 2,035.65 TON / EVENTO

MUS-TAMI

CUADRO N° 64

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : TAHUILAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	97.00	7.65	0.06	7.42
MATORRALES	0.10	97.00	6.29	0.01	6.10
CONIFERAS	0.00	94.00	6.04	0.00	5.68
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	91.00	3.00	0.01	2.73
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	87.00	7.35	0.02	6.39
SUELO DESNUDO (ROCOSO)	1.00	97.00	1.12	0.01	1.09
PASTOS NATURALES	0.01	97.00	2.08	0.00	2.02
CARRETERAS DE TIERRA	1.00	97.00	1.24	0.01	1.20
BOSQUES	0.00	91.00	65.23	0.00	59.36
			100.00	0.12	91.99

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".**

**POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : TAHUILAPA (VER FIG. No. 89)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 17 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 22.12 \text{ mm.}$$

$$CN = 91.99$$

$$Pb = 22.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 7.78 \text{ mm.} = 1,073.91 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 137.98 Km².

$$Tc = \frac{2.97 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.78 \text{ Hrs.}$$

$$V = 7.78 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 68.70 \text{ M3/SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 47.43 \text{ M3/SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.32$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 18.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 64

$$C = 0.12$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO TAHUILAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{3,906.33 \text{ TON/ EVENTO}}$$

MUS-TAHI

CUADRO N° 65

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : QUEZALAPA

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
PASTOS NATURALES	1.00	94.00	2.71	0.03	2.55
TIERRAS DESNUDAS	0.10	97.00	8.80	0.01	8.54
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	94.00	18.97	0.06	17.83
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	94.00	9.01	0.03	8.47
CULTIVO DE CEREALES	0.70	97.00	3.16	0.02	3.07
CARRETERAS	0.90	98.00	2.63	0.02	2.58
CIUDADES	0.90	98.00	1.79	0.02	1.75
BOSQUES	0.00	91.00	52.94	0.00	48.18
			100.00	0.18	92.96

QUEZAL-1

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE "
POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : QUEZALAPA (VER FIG. No. 90)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 20 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 19.24 \text{ mm.}$$

$$CN = 92.96$$

$$Pb = 20.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 7.37 \text{ mm.} = 3,008.11 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 408.00 Km².

$$Tc = \frac{2.88 \text{ Hrs.}}{TL = 0.6 Tc} = 1.73 \text{ Hrs.}$$

$$V = 7.37 \text{ mm.}$$

Si $Tc < 4 \text{ Hrs.}$ $Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 198.45 \text{ M3 / SEG}$

Si $Tc \geq 4 \text{ Hrs.}$ $Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 137.00 \text{ M3 / SEG}$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.28$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 11.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 65

$$C = 0.18$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.90$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO QUEZALAPA

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{10,103.67 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-QUEI

CUADRO N° 66

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "
 SUBCUENCA DEL RIO : SUCIO

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	C	CN
TIERRAS DE CULTIVO	0.80	98.00	9.04	0.07	8.86
VEGETACION ARBUSTIVA	0.30	87.00	15.22	0.05	13.24
MATORRALES	0.10	97.00	4.41	0.00	4.28
LAVAS	0.90	91.00	4.50	0.04	4.10
CAFETALES	0.30	87.00	21.91	0.07	19.06
PASTOS NATURALES	0.01	94.00	1.95	0.00	1.83
CIUDADES	0.90	98.00	2.21	0.02	2.17
VEGETACION LATIFOLIADA	0.30	87.00	0.58	0.00	0.50
CARRETERAS PAVIMENTADAS	0.90	98.00	0.69	0.01	0.68
CARRETERAS DE TIERRAS	1.00	97.00	0.80	0.01	0.78
BOSQUES	0.00	91.00	38.69	0.00	35.21
			100.00	0.27	90.70

SUCIO-1

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRÓN GRANDE ".**

**POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : SUCIO (VER FIG. No. 92)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 36 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 26.04 \text{ mm.}$$

$$CN = 90.70$$

$$Pb = 36.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 16.68 \text{ mm.} = 13,969.74 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 837.44 Km².

$$Tc = \frac{6.92}{\text{Hrs.}} \quad TL = 0.6 Tc = 4.15 \text{ Hrs.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 383.56 \text{ M3 / SEG}$$

$$V = 16.68 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 264.79 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.32$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 6.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 66

$$C = 0.27$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.70$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO SUCIO

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{20,406.93 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-SUCI

CUADRO N° 67

DATOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL " C " Y NUMERO DE CURVA " CN "

SUBCUENCA DEL RIO : MOJAFLORES

DESCRIPCION	C	CN	% AREA	\bar{C}	\bar{CN}
CULTIVOS LIMPIOS	0.90	97.00	2.56	0.02	2.48
PASTOS Y MALEZAS	0.10	97.00	2.04	0.00	1.98
PASTOS MEJORADOS	0.10	94.00	3.56	0.00	3.35
BOSQUES NATURALES	0.00	91.00	88.77	0.00	80.78
ARBUSTOS Y MALEZAS	0.30	91.00	0.64	0.00	0.58
CARRETERAS	0.90	98.00	1.62	0.01	1.59
CIUDADES	0.90	98.00	0.81	0.01	0.79
			100.00	0.05	91.55

**CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO EN EL
" EMBALSE DEL CERRON GRANDE ".**

**POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).
SUBCUENCA DEL RIO : MOJAFLORES (VER FIG. No. 91)**

CALCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE).

1. FACTOR DE ESCORRENTIA

1.1 VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)

Pb = 28 mm. (Ver figura No. 11)

$$S = (1000/CN - 10) * 25.4 = 23.44 \text{ mm.}$$

$$CN = 91.55$$

$$Pb = 28.00 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{(Pb - 0.2s)^2}{Pb + 0.8*s} = 11.62 \text{ mm.} = 592.75 \text{ M3.}$$

1.2 CAUDAL PICO (Qp)

A = 51.00 Km².

$$Tc = \frac{1.50 \text{ Hrs.}}{1.50} \quad TL = 0.6 Tc = 0.90 \text{ Hrs.}$$

$$V = 11.62 \text{ mm.}$$

$$\text{Si } Tc < 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.114 V * A}{TL} = 75.08 \text{ M3 / SEG}$$

$$\text{Si } Tc \geq 4 \text{ Hrs.} \quad Qp = \frac{0.0787 V * A}{TL} = 51.83 \text{ M3 / SEG}$$

2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

DE CUADRO No. 14 Y FIGURA No. 24

$$K = 0.29$$

3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y FACTOR DE GRADIENTE DE PENDIENTE (S).

DE FIGURA No. 26

$$LS = 8.00$$

4. FACTOR DE CULTIVOS (C).

DE CUADRO No. 67

$$C = 0.05$$

5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P).

DE CUADRO No. 16

$$P = 0.80$$

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL MODIFICADA DE PERDIDA DE SUELO (MUSLE)

SUBCUENCA DEL RIO MOJAFLORES

$$A = 11.8 (V * Qp)^{0.56} * K * LS * C * P = \boxed{439.07 \text{ TON / EVENTO}}$$

MUS-MOJI

CUADRO N° 68
ANALISIS FINANCIERO ALTERNATIVA REFORESTACION

ANO	AMORTIZACION A CAPITAL	SALDO A CAPITAL	OTROS EGRESOS	TOTAL A PAGAR (EGRESOS)	INGRESOS	OTROS INGRESOS	TOTAL INGRESOS	FLUJO EFFECTIVO
1		1,893,099,600.00		0.00	0.00	24,256,336.00	24,256,336.00	24,256,336.00
2	65,279,296.55	1,827,820,303.45		65,279,296.55	0.00	48,512,672.00	48,512,672.00	(16,766,624.55)
3	65,279,296.55	1,762,541,006.90		65,279,296.55	0.00	72,769,008.00	72,769,008.00	7,489,711.45
4	65,279,296.55	1,697,261,710.34		65,279,296.55	0.00	97,025,344.00	97,025,344.00	31,746,047.45
5	65,279,296.55	1,631,982,413.79		65,279,296.55	0.00	121,281,680.00	121,281,680.00	56,002,383.45
6	65,279,296.55	1,566,703,117.24	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	145,538,016.00	683,138,016.00	589,858,719.45
7	65,279,296.55	1,501,423,820.69	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	169,794,352.00	707,394,352.00	614,115,055.45
8	65,279,296.55	1,436,144,524.14	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	194,050,688.00	731,650,688.00	638,371,391.45
9	65,279,296.55	1,370,865,227.59	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	218,307,024.00	755,907,024.00	662,627,727.45
10	65,279,296.55	1,305,585,931.03	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	242,563,360.00	780,163,360.00	686,884,063.45
11	65,279,296.55	1,240,306,634.48	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	266,819,696.00	804,419,696.00	711,140,399.45
12	65,279,296.55	1,175,027,337.93	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	291,076,032.00	1,366,276,032.00	1,244,996,735.45
13	65,279,296.55	1,109,748,041.38	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	315,332,368.00	1,390,532,368.00	1,269,253,071.45
14	65,279,296.55	1,044,468,744.83	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	339,588,704.00	1,414,788,704.00	1,293,509,407.45
15	65,279,296.55	979,189,448.28	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	363,845,040.00	1,439,045,040.00	1,317,765,743.45
16	65,279,296.55	913,910,151.72	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	388,101,376.00	1,463,301,376.00	1,342,022,079.45
17	65,279,296.55	848,630,855.17	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	412,357,712.00	1,487,557,712.00	1,366,278,415.45
18	65,279,296.55	783,351,558.62	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	436,614,048.00	1,511,814,048.00	1,390,534,751.45
19	65,279,296.55	718,072,262.07	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	460,870,384.00	1,536,070,384.00	1,414,791,087.45
20	65,279,296.55	652,792,965.52	84,000,000.00	149,279,296.55	1,612,800,000.00	485,126,720.00	2,097,926,720.00	1,948,647,423.45
21	65,279,296.55	587,513,668.97	84,000,000.00	149,279,296.55	1,612,800,000.00	509,383,056.00	2,122,183,056.00	1,972,903,759.45
22	65,279,296.55	522,234,372.41	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	533,639,392.00	1,608,839,392.00	1,487,560,095.45
23	65,279,296.55	456,955,075.86	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	557,895,728.00	1,633,095,728.00	1,511,816,431.45
24	65,279,296.55	391,675,779.31	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	582,152,064.00	1,657,352,064.00	1,536,072,767.45
25	65,279,296.55	326,396,482.76	56,000,000.00	121,279,296.55	1,075,200,000.00	606,408,400.00	1,681,608,400.00	1,560,329,103.45
26	65,279,296.55	261,117,186.21	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	630,664,736.00	1,168,264,736.00	1,074,985,439.45
27	65,279,296.55	195,837,889.66	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	654,921,072.00	1,192,521,072.00	1,099,241,775.45
28	65,279,296.55	130,558,593.10	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	679,177,408.00	1,216,777,408.00	1,123,498,111.45
29	65,279,296.55	65,279,296.55	28,000,000.00	93,279,296.55	537,600,000.00	703,433,744.00	1,241,033,744.00	1,147,754,447.45
30	65,279,296.55	(0.00)		65,279,296.55	0.00	727,690,080.00	727,690,080.00	662,410,783.45
TOTAL								29,770,096,640.00

REF-FIN2

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

7,772,131,808.28

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

11.66 %

RELACION BENEFICIO - COSTO

10.88

CUADRO N° 69
PLAN DE PRODUCCIONES FORESTALES

A Ñ O S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
REFORESTACION (MILES Has.)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14																					
ACUMULADO REFORESTADO (MILES Has.)		28	42	56	70	84	98	112	126	140																					
R A L E O S						I						II			III					IV											
					14.00						14.00			14.00					14.00												
						14.00						14.00			14.00				14.00												
							14.00						14.00						14.00												
								14.00						14.00					14.00												
									14.00						14.00				14.00												
										14.00									14.00												
											14.00									14.00											
												14.00									14.00										
													14.00									14.00									
														14.00									14.00								
TOTALES (RALEO / MILES Has.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	42.00	42.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	14.00	14.00	14.00	14.00	0.00

CUADRO N° 70
 CUADRO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

AÑO	REFORESTACION	DRAGADO	DIQUES
	FLUJO EFECTIVO	FLUJO EFECTIVO	FLUJO EFECTIVO
1	24,256,336.00		(476,677.80)
2	(16,766,624.55)		(541,191.31)
3	7,489,711.45		(311,301.74)
4	31,746,047.45		(81,412.18)
5	56,002,383.45		148,477.39
6	589,858,719.45		378,366.95
7	614,115,055.45		608,256.52
8	638,371,391.45		838,146.08
9	662,627,727.45		1,068,035.65
10	686,884,063.45		1,297,925.22
11	711,140,399.45		1,527,814.78
12	1,244,996,735.45		1,757,704.35
13	1,269,253,071.45		1,987,593.91
14	1,293,509,407.45		2,217,483.48
15	1,317,765,743.45		2,447,373.04
16	1,342,022,079.45		2,677,262.61
17	1,366,278,415.45		2,907,152.18
18	1,390,534,751.45		3,137,041.74
19	1,414,791,087.45		3,366,931.31
20	1,948,647,423.45		3,596,820.87
21	1,972,903,759.45		3,826,710.44
22	1,487,560,095.45		4,056,600.00
23	1,511,816,431.45		4,286,489.57
24	1,536,072,767.45		4,516,379.14
25	1,560,329,103.45		4,746,268.70
26	1,074,985,439.45		4,976,158.27
27	1,099,241,775.45		5,206,047.83
28	1,123,498,111.45		5,435,937.40
29	1,147,754,447.45		5,665,826.96
30	662,410,783.45		5,895,716.53
	29,770,096,640.00	SIN FINANCIAMIENTO	77,163,937.89
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	7,772,131,808.28		15,375,341.11
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	11.66%		0.82%
RELACION BENEFICIO - COSTO	10.88		5.11

