

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



**Generación de un Modelo Paramétrico  
Para El Análisis de Crecidas en Pequeñas Cuencas**

TRABAJO DE GRADUACION

**PRESENTADO POR :**

Diógenes de Jesús Chévez Guerrero  
Ramón Arturo Campos Colato

PARA OPTAR AL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

Enero de 1989



T  
551.48  
Ch 527g



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : LIC. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIO GENERAL : ING. RENE MAURICIO MEJIA MENDEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. ROBERTO BRAN GIRALT

SECRETARIO : ING. MARIO ARNOLDO MOLINA ARGUETA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR : ING. ROBERTO LOPEZ MEYER

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

DIOGENES DE JESUS CHEVEZ GUERRERO

RAMON ARTURO CAMPOS COLATO

PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

COORDINADOR : ING. HERNAN ROMERO CHAVARRIA

ASESORES :



ING. MAXIMO ROBERTO PANIAGUA P. ING. MIGUEL ANGEL RIVAS MONTERROSA

ING. RAUL RODRIGUEZ RIVERA

DEDICO ESTE TRIUNFO

A DIOS TODOPODEROSO : Por iluminar mi camino.

A MI MADRE : ALICIA C. GUERRERO v. DE CHEVEZ  
Como un Homenaje a su abnegación.

A MI PADRE : HERNAN CHEVEZ CHAVEZ

Y MI HERMANO : JOSE HERNAN CHEVEZ GUERRERO  
Como un Homenaje Póstumo.

A MIS HERMANOS : HERNAN A. CHEVEZ GUERRERO Y  
RENE FRANCISCO CHEVEZ GUERRERO  
Por brindarme todo su apoyo y  
comprensión.

A MIS ABUELAS, TIOS Y  
PRIMOS : Por la valiosa ayuda brindada para  
mi formación académica, moral y es-  
piritual.

A MIS AMIGOS : Con mucho cariño.

DIOGENES.

DEDICO ESTE TRIUNFO

A DIOS TODOPODEROSO : Por haberme brindado la oportunidad  
de vivir y realizar mis deseos.

A MI PADRE : RAMON ARTURO COLATO  
Por su esfuerzo y cariño para que  
yo lograra este triunfo y que le  
dedico con mucho amor.

A MI MADRE : ARMIDA CAMPOS GAITAN (Q.E.P.D.)  
Quien me sirvió de ejemplo, a pesar  
de no estar físicamente a mi lado.

A MIS HERMANAS : Quienes siempre me motivaron para  
culminar mi carrera.

A MIS FAMILIARES,  
AMIGOS Y COMPAÑEROS : Por el apoyo que me brindaron.

RAMON ARTURO

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas e instituciones, que han colaborado en la realización de este trabajo. Expresamos a todas nuestros más sinceros agradecimientos y especialmente a:

- Al Ing. Hernán Romero Chavarría, por su esmero en la orientación de esta investigación.
- Al Ing. Abelardo de la Torre, por su valioso aporte en la formulación de este trabajo.
- A la Universidad de El Salvador y todo su personal docente y administrativo, por habernos proporcionado nuestra formación académica.
- Al servicio Meteorológico Nacional, Servicio Hidrológico Nacional, Dirección General de Riego y Drenaje, por la información proporcionada.

A todos infinitas gracias.

Los Autores

## I N D I C E

	Página	
INTRODUCCION	i	
CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES		
1.1	Antecedentes y Planteamiento del Problema	2
1.2	Problemas Ocasionados por las Crecidas Máximas	5
1.3	Justificación del Estudio	8
1.4	Objetivos del Estudio	10
1.4.1	Objetivos Generales	10
1.4.2	Objetivos Específicos	11
1.5	Alcances y Limitaciones	11
1.5.1	Alcances	11
1.5.2	Limitaciones	12
1.6	Métodos Empleados para el Cálculo de Avenidas Máximas	13
1.7	Metodología	16
CAPITULO II - ASPECTOS HIDROCLIMATOLOGICOS		
2.1	Generalidades	20
2.2	Desarrollo de la Hidrología en El Salvador	21
2.3	Descripción del Relieve Terrestre, la Geología y el Uso del Suelo en El Salvador	23
2.3.1	Relieve Terrestre	23
2.3.1.1	La Planicie Aluvial Costera y los Valles	23
2.3.1.2	La Cadena Costera	25

	Página
2.3.1.3 La Meseta Central	27
2.3.1.4 La Cadena y la Fosa Interior	27
2.3.1.5 Las Cordilleras Septentrionales Fronterizas	28
2.3.2 Geología	30
2.3.2.1 Elementos Geológicos	30
2.3.2.2 Elementos Estratigráficos	33
2.3.3 Uso del Suelo	34
2.4 Hidrología de El Salvador	41
2.4.1 Definición y División de la Hidrología	41
2.4.2 Períodos Meteorológicos Principales	42
2.4.3 Regionalización Hidrológica del País	43
2.4.3.1 Cuenca del Río Lempa	44
2.4.3.2 Cuenca del Río Paz	45
2.4.3.3 Cuenca entre los Ríos San Francisco-Copinula	45
2.4.3.4 Cuenca entre los Ríos San Pedro-Sensunapán-Banderas	45
2.4.3.5 Cuenca entre los Ríos Pululuya-Comalapa	46
2.4.3.6 Cuenca del Río Jiboa	46
2.4.3.7 Cuenca entre los Ríos Jiboa y Lempa	47
2.4.3.8 Cuenca entre los Ríos El Potrero-El Molino	47
2.4.3.9 Cuenca del Río Grande de San Miguel	47
2.4.3.10 Cuenca entre los Ríos Grande de San Miguel y Siramá	48
2.4.3.11 Cuenca entre los Ríos Coascorán-Siramá y otros	48
2.4.4 Limnología de El Salvador	50

	Página	
2.5	El Clima de El Salvador	50
2.5.1	Distribución del Clima en el Año	53
2.5.2	Zonas Climáticas	56
2.5.3	Tipos de Lluvia	57
2.5.4	Incidencia de los Huracanes	59
2.6	Análisis de la Lluvia en cuanto a Intensidad, duración y Período de Retorno	62
CAPITULO III - DESCRIPCION DE LOS METODOS UTILIZADOS EN EL ANALISIS DE CRECIDAS		
3.1	Generalidades	69
3.2	Origen de las Avenidas Máximas	70
3.3	Características del Fenómeno en Análisis	72
3.4	Conformación del Hidrograma de Caudales	76
3.4.1	Cuencas de Forma Alargada	76
3.4.2	Cuencas en Forma de Sector Circular	81
3.4.3	Cuencas de Forma Irregular	83
3.5	Análisis de los Factores Involucrados en la Formación de Avenidas	84
3.5.1	Factores Climáticos	85
3.5.1.1	Precipitación	85
3.5.1.2	Otros Factores	85
3.5.2	Geomorfología de la Cuenca	88
3.5.2.1	El Area de Recogimiento	89
3.5.2.2	Forma de la Cuenca	90

	Página
3.5.2.3 Forma y Orientación de la Red Fluvial	91
3.5.2.4 Relieve de la Cuenca	93
3.5.2.5 Características Geológicas y Cobertura del Suelo	95
3.5.3 Obras Artificiales	95
3.5.4 Factores Extrahidrológicos	97
3.6 Métodos Utilizado en el Cálculo de Crecidas Máximas	97
3.6.1 Métodos Directos	98
3.6.1.1 Aforos Directos	98
3.6.1.2 Correlación con Otras Cuencas	100
3.6.1.3 Método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América	101
3.6.2 Métodos Empíricos	102
3.6.2.1 Fórmula de Fuller	103
3.6.2.2 Fórmula de Burki-Ziegler	104
3.6.2.3 Fórmula de Dickens	105
3.6.2.4 Fórmula de Mac-Math	106
3.6.2.5 Fórmula de Rafael Heras	106
3.6.3 Métodos Hidrometeorológicos	107
3.6.3.1 Método por la Aplicación de la Fórmula Racional	108
3.6.3.2 Método de las Isocronas	110
3.6.3.3 Método del Hidrograma Unitario	113
3.6.3.4 Hidrograma Triangular	118
3.6.4 Métodos Estadísticos	120
3.6.4.1 Ajuste de Caudales Máximos Instantáneos	121

	Página	
3.6.5	Correlación Hidrológica	122
3.6.5.1	Método del U.S. Soil Conservation Service	122
CAPITULO IV - GENERACION DEL MODELO PARAMETRICO		
4.1	Generalidades	127
4.2	Agrupación de Cuencas en Base a Parámetros Morfológicos	129
4.3	Establecimiento de Relaciones entre Parámetros Involucrados en la Generación del Modelo	155
4.4	Conformación del Modelo Paramétrico	176
4.5	Procedimiento a Emplear para la Utilización del Modelo Paramétrico	179
CAPITULO V - COMPROBACION DEL MODELO Y SU APLICACION EN EL DRENAJE SUPERFICIAL DE CARRETERAS		
5.1	Generalidades	186
5.2	Comprobación del Modelo	186
5.2.1	Información Topográfica Empleada	186
5.2.2	Análisis Hidráulico	193
5.2.3	Cálculo de Caudales por Medio del Modelo Generado y Establecimiento de su Precisión	203
5.3	Aplicación del Modelo en el Drenaje Superficial de Carreteras	207
5.3.1	Obras de Cruce	208
5.3.2	Criterios para la Elección del Tipo de Obra de Cruce	210
5.3.3	Metodología para el Predimensionamiento Hidráulico de la Sección Transversal a Emplear	213

	Página
5.3.3.1 Procedimiento para el Predimensionamiento Hidráulico	222
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	224
GLOSARIO	227
ANEXO A - ANALISIS DE LA RELACION AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION - DURACION (A-P-D)	233
ANEXO B - DETERMINACION DE LAS CURVAS A-P-D Y ANALISIS DE LA PRECIPITACION DE LOS DIAS 27 Y 28 DE AGOSTO DE 1988	236
BIBLIOGRAFIA	245

## INTRODUCCION

En El Salvador, al igual que en otras regiones del mundo, las investigaciones hidrológicas realizadas, han sido orientadas principalmente a ríos cuyas cuencas poseen una gran extensión. Esta inclinación, se debe fundamentalmente a la incidencia económica que éstos pueden tener, tanto para llevar a cabo su aprovechamiento - como para evitar daños provocados por las crecidas máximas, y también a la disponibilidad de información hidrológica existente que permita, la aplicación y desarrollo de modelos de simulación de diferente índole.

Sin embargo, en la actualidad la generación de caudales en pequeñas cuencas, ha tomado gran importancia dada la necesidad de explotación en regiones con fines agrícolas que poseen un alto potencial productivo y además incrementar el desarrollo de diferentes áreas urbanas que han quedado en sub-cuencas pequeñas, las cuales han sufrido grandes cambios, propiciando con ello el deterioro de los recursos naturales renovables, induciendo además cambios en el comportamiento hidrológico y dando por consiguiente , una importancia vital en la incidencia de los mismos dentro de la zona urbana.

Para este tipo de estudios hidrológicos, en el país no existen investigaciones encaminadas a determinar los parámetros necesarios, en la cuantificación de avenidas producidas por eventos meteorológicos extraordinarios, ni mucho menos, estudios que proporcionen la metodología de cálculo que mejor se adapte a las condiciones imperantes en el medio.

Este trabajo, tiene como principal objetivo, generar un modelo paramétrico para el análisis de crecidas en pequeñas cuencas, mediante la investigación del comportamiento hidrológico de cuencas patrones a nivel del país, de tal manera que sea de aplicación práctica; adoptando como pequeñas cuencas, aquellas cuya área de drenaje, sea menor o igual a cien kilómetros cuadrados ( $100 \text{ km}^2$ ). El modelo generado, posee como base de sustentación, el método del Hidrograma Triangular, el cual considera el comportamiento hidrológico de la cuenca ante el estímulo de la lluvia como un triángulo; además realiza una estimación del tiempo de retardo de la avenida, producto de los diversos accidentes del cauce.

En su obtención, ha sido necesario efectuar una serie de análisis, tendientes a establecer similitudes entre las cuencas estudiadas y poder así agruparlas con la finalidad de lograr una mejor estimación de las crecidas máximas probables.

Para poder establecer el grado de confiabilidad que posee la metodología propuesta, se realiza una comprobación del modelo, mediante el análisis del comportamiento hidráulico de secciones transversales de varios ríos del país, para las cuales las características hidrológicas de sus cuencas, han sido evaluadas para un evento meteorológico conocido.

Además se proporciona, una metodología para el pre-dimensionamiento hidráulico de obras de cruce en carreteras, así como algunas recomendaciones para la elección del sitio de paso y tipo de obra a emplear.

CAPITULO I

A S P E C T O S   G E N E R A L E S  
=====

## CAPITULO I

### " ASPECTOS GENERALES "

#### 1.1 Antecedentes y Planteamiento del Problema

En gran parte de las Obras Civiles, es de mucha importancia efectuar estudios referentes a las Crecidas Máximas en los cauces que atraviesan o que están próximos al sitio de construcción, ésto demanda la realización de estudios hidrológicos específicos.

Las Avenidas Máximas pueden ser producidas, por cualquiera de los tres fenómenos siguientes: la Precipitación Pluvial, la Fusión de Nieve y el Almacenamiento y Fusión del Hielo . En El Salvador, debido a su posición geográfica y por ende a sus condiciones climatológicas, las Crecidas Máximas son producidas por la lluvia, la cual en todo el país se presenta en dos tipos:

- i) Tipo Chubasco que se inicia y termina bruscamente con alta intensidad y corta duración, su origen es de tipo convectivo y orográfico, variando su duración de pocos minutos a dos horas, cubriendo generalmente pequeñas áreas , no mayores de 25 km<sup>2</sup>.
- ii) Tipo Temporal, es una lluvia extendida y persistente, de intensidad débil a moderada que puede durar de 3 a 20 horas, cubriendo grandes áreas y con producción de precipi

tación de hasta 200 mm.

Las lluvias de tipo temporal, están asociadas con la incidencia de los huracanes que se forman en el Océano Pacífico y el Mar Caribe, constituyen la principal fuente de generación de Avenidas Máximas, dadas las condiciones desfavorables que producen, por la saturación del suelo lo cual, al incrementarse la intensidad produce mayores escurrimientos; los meses con mayor probabilidad de ocurrencia son Junio, Septiembre y Octubre.

Las Crecidas Máximas, se intentan controlar por medio de obras de regulación, conducción, protección, etc. como lo son presas, canales y bordas. Estas obras poseen restricciones de tipo económico, por lo que se hace necesario desarrollar predicciones hidrológicas, conociendo como tal, a la rama de la Hidrología que se encarga de estimar los escurrimientos probables en general y las avenidas en particular.

Las predicciones, deben desarrollarse en una forma satisfactoria para lograr así un equilibrio entre el costo del proyecto y la disminución del riesgo ocasionado por este fenómeno.

En base al tiempo de anticipación con el que se hacen los pronósticos, éstos pueden clasificarse como:

- i) Predicciones a largo plazo
- ii) Pronósticos a corto plazo.

Los pronósticos a largo plazo se basan en correlaciones entre la ocurrencia de un fenómeno meteorológico y los índices de circulación atmosférica. Lo más común es considerar la formación de nubes y la precipitación como el fenómeno meteorológico; en cuanto a los índices de circulación atmosférica éstos son fundamentalmente la velocidad del viento, la temperatura y la presión.

Los pronósticos a corto plazo, son los que parten de la información de lluvia y escurrimiento medida en la cuenca; están basados en las leyes que gobiernan el movimiento del agua en la superficie de la cuenca y en los ríos, por lo que utilizan los métodos de relación entre precipitación y escurrimiento, y escurrimiento a superficie libre, para calcular la formación y el tránsito de la avenida.

En términos generales, un sistema de predicción de avenidas, es el modelo hidrológico, mediante el cual se convierte la información de precipitación y de escurrimiento medidas aguas arriba, de un punto de interés, en una cuantificación de la avenida que deberá controlarse.

Actualmente, existen muchos métodos para la predicción de los caudales máximos, los cuales van desde procesos de relativa facilidad de aplicación, hasta modelos de alta laboriosidad y complejidad. Cada uno de estos métodos, posee ciertas restricciones que generalmente en nuestro medio no son

tomadas en cuenta a la hora de su aplicación, generando de esta manera, caudales que no son compatibles con el área de influencia, ni las precipitaciones imperantes en la zona de estudio.

Hasta ahora, no se ha realizado en El Salvador, estudios que proporcionen una metodología de cálculo para la Predicción de Crecidas Máximas, con un período de retorno establecido, ni estudios orientados a la determinación de los parámetros necesarios, para la aplicación de los métodos existentes empleados en nuestro medio.

La metodología a utilizar en la determinación de la Avenida de Diseño, depende fundamentalmente de la información de que se disponga.

Con este trabajo, se pretende generar un Modelo Paramétrico, para el Análisis de Crecidas que se ajuste a las condiciones topográficas, geológicas, climatológicas y de uso de suelo existentes en el país.

Este modelo deberá tomar en consideración, muchos aspectos que hasta la fecha no han sido establecidos para el país como lo son: la forma de la cuenca y la distribución de la precipitación, entre otros.

Con la finalidad de que el modelo generado, sea de aplicación práctica, se considera necesario presentarlo por medio de un gráfico, que interrelacione los parámetros involucra -

dos en la cuantificación del fenómeno en estudio; siendo este modelo, aplicable a cuencas pequeñas ya que en éstas, la mala apreciación de los parámetros necesarios en este tipo de análisis, produce variaciones considerables, respecto a los caudales reales producidos.

Una vez elaborado el modelo, se deberá establecer la confiabilidad que éste posea; efectuándose para ello investigaciones de campo, que determinen con mayor grado de confiabilidad los caudales ocurridos en zonas piloto a nivel del país.

Con la determinación del caudal máximo en el punto en estudio, para un período de retorno establecido, el problema del Ingeniero Hidráulico, no queda resuelto en su totalidad, esto conlleva a la determinación de la relación Hidrología-Hidráulica; por lo tanto se desarrollará una metodología de cálculo, también de aplicación práctica que permita realizar un pre-dimensionamiento de secciones que sean capaces de transportar los caudales generados para obras específicas.

## 1.2 Problemas Ocasionados por las Crecidas Máximas

Son varios los problemas que pueden ocasionar las Crecidas Máximas, entre ellos pueden citarse las inundaciones, la socavación en pilas de puentes, y el arrastre de sedimentos.

A lo largo y ancho del país se encuentran problemas de este tipo; a manera de ilustración se mencionarán algunos casos - en donde el fenómeno en estudio se presenta provocando serias dificultades.

En la zona del campo de pozos de Guluchapa propiedad de ANDA (Ilopango Departamento de San Salvador), en las márgenes del río Chaguite, los equipos de bombeo quedan soterrados debido a la gran cantidad de sedimentos que arrastra este río, inutilizando el equipo y provocando serias dificultades para el abastecimiento de agua potable en las zonas que cubre el campo de pozos de Guluchapa.

Este tipo de problema, se presenta también en el Distrito de Riego del Valle de Zapotitán (Departamento de La Libertad) en donde los ríos arrastran tantos sedimentos que destruyen los badenes en casi toda la red de caminos, produciéndose en ellos embalses y en ocasiones desbordamientos, inutilizando los caminos y grandes zonas de cultivo.

Otro problema que se ha presentado en el Valle de Zapotitán, es la socavación de las pilas del puente construido sobre el río Talnique, el cual produjo el colapso de la estructura.

Como ejemplo de obras que no son capaces de aliviar las crecidas producidas, pueden mencionarse las construidas en Montebello (San Salvador) las cuales han provocado además de -

las inundaciones, muchas pérdidas materiales y humanas. También, la bóveda localizada en la Avenida 29 de Agosto, sobre el Arenal de Montserrat (San Salvador), y una obra de paso en la quebrada La Joachina en Chinameca (Departamento de San Miguel), en donde la batería de tubos no es la adecuada y por consiguiente inunda la zona.

Las obras hidráulicas empleadas para controlar las Avenidas Máximas, no se orientan únicamente a salvar obstáculos en una carretera, a la protección de complejos habitacionales, etc. sino que también a la recuperación de tierras que se inundan continuamente, para que sean utilizadas en la agricultura, tal es el caso de los diques proyectados en el río Acahuapa, para el control de inundaciones.

### 1.3 Justificación del Estudio

Debido a la mala aplicación de los procedimientos empleados para la estimación de las avenidas máximas, se han recomendado como alternativas de solución, obras de gran dimensión y alto costo, u obras que no son capaces de aliviar los caudales reales registrados como una respuesta al estímulo producido por la lluvia en el área de influencia de los sitios en análisis.

Estas determinaciones, poseen una gran incidencia económica en los proyectos, lo cual pone de manifiesto la necesidad de desarrollar una metodología de cálculo, que permita el establecimiento de los caudales máximos, en una forma sencilla y que se ajuste a las características existentes en los lugares en que se construirán obras hidráulicas.

A pesar de la importancia que posee este tipo de análisis, no se ha desarrollado ningún estudio que proporcione el método más adecuado, para las condiciones imperantes en el país, ni mucho menos que genere datos más confiables que los que actualmente se están estimando. Por otro lado la información meteorológica (Intensidades de lluvia) e Hidrológica (aforos), en muchos casos no es consistente; presentándose interrupciones en la continuidad de los registros y otras situaciones, que ponen en duda la veracidad de los datos obtenidos.

Generalmente en proyectos de gran dimensión como lo son los proyectos de Riego y Drenaje, Vías Terrestres, Complejos Habitacionales, etc. se presenta la necesidad de desarrollar análisis de crecidas, siendo los más usuales los estudios en pequeñas cuencas; es por esta razón, que la investigación a desarrollar se orienta a la determinación de una metodología de análisis para este tipo de situaciones.

Esta investigación, es de gran utilidad, en aquellos proyec-

tos, que por su propia naturaleza requieren de la aplicación de una serie de procesos hidrológicos relativamente alta, o que el número de obras se incremente notablemente en base al número de alternativas viables; pudiendo ser empleada en estudios a nivel de factibilidad y también en diseños preliminares de obras hidráulicas.

Desde este punto de vista, se justifica la realización del estudio, ya que estaría proporcionándose el mecanismo técnico, para poder llevar a cabo un proyecto en el cual se necesiten estudios para la estimación de Crecidas Máximas; en base a la aplicación de parámetros de fácil obtención, con un grado de confiabilidad razonable y con ello evitar el fracaso de más proyectos, debido a que los diseñadores, se ven en la necesidad de importar datos y metodologías, por la falta de investigaciones en nuestro medio.

#### 1.4 Objetivos del Estudio

##### 1.4.1 Objetivo General

Generar un Modelo Paramétrico para el análisis de crecidas - en pequeñas cuencas, mediante la investigación del comportamiento hidrológico, en cuencas patrones a nivel de país.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar y tipificar las cuencas a nivel de país, en base a parámetros físicos más representativos.
- Generación del modelo paramétrico característico de caudales máximos, mediante la aplicación de métodos hidrológicos confiables, que permitan conocer la relación entre todos los parámetros influyentes dentro del comportamiento hidrológico de la cuenca.
- Caracterizar las zonas de máxima intensidad a nivel del país, mediante la elaboración de mapas de Iso-Intensidades, para diferentes duraciones y períodos de retorno.
- Definir una metodología adecuada, para el pre-dimensionamiento en obras hidráulicas que sean capaces de aliviar la crecida máxima, para un período de diseño determinado.

#### 1.5 Alcances y Limitaciones

##### 1.5.1 Alcances

Con esta investigación se pretende definir una metodología para la estimación de los caudales máximos ocurridos en pequeñas cuencas mediante la caracterización de los parámetros morfológicos de cuencas patrones distribuidas en todo el país.

El modelo, involucra variables de fácil obtención (Area de la Cuenca, longitud del cauce más largo, pendiente, etc.) con la finalidad de que la cuantificación del fenómeno analizado se realice en forma sencilla y rápida, de tal manera que el proyectista pueda invertir la mayor parte de su tiempo en la búsqueda de soluciones y no en desarrollar procedimientos de alta laboriosidad para cuantificar la respuesta de la cuenca ante el estímulo de la lluvia.

La metodología generada, deberá proporcionar datos, con un grado de confiabilidad aceptable; de tal manera que éstos, puedan ser empleados en análisis de factibilidad técnica y prediseños de obras hidráulicas; por lo que se realizará una verificación del modelo tendiente a detectar sus bondades.

Además, esta investigación incluye un procedimiento para establecer la relación Hidrología-Hidráulica en obras específicas.

### 1.5.2 Limitaciones

Las restricciones que impone el modelo, son producto del grado de confiabilidad que éste pueda tener, lo cual nos lleva a que únicamente es confiable para ciertos tamaños de cuenca, rangos de intensidades de lluvia y duraciones de tormenta.

La confiabilidad del modelo, está íntimamente relacionada - con la calidad y cantidad de información disponible de las variables involucradas, para la generación del mismo; por ejemplo, los registros meteorológicos empleados para la obtención de los Mapas de Isolíneas de Intensidades Máximas, entre los cuales existen datos un tanto dispersos, respecto a registros en regiones aledañas, existiendo zonas en que prácticamente no existe información en cuanto a intensidades máximas anuales, como en el Departamento de La Paz, en donde únicamente hay una estación pluviográfica.

#### 1.6 Métodos Empleados para el Cálculo de Avenidas Máximas

Como se mencionó anteriormente, son muchos los métodos existentes para el cálculo de las avenidas máximas, los cuales se han originado, de las diversas observaciones realizadas, sobre comportamiento de las cuencas ante el estímulo del agente que produce el escurrimiento, pueden ser clasificados en términos generales en cinco tipos:

- a) Métodos Directos
- b) Métodos Empíricos
- c) Métodos Hidrometeorológicos
- d) Métodos Estadísticos
- e) Correlación Hidrológica.

Cada uno de estos tipos de Modelos de Esgurrimento, se basan en una serie de consideraciones, las cuales serán estudiadas más adelante con mayor profundidad, con el objeto de identificar las restricciones de aplicación de cada uno de ellos.

Los Métodos Directos, no poseen una metodología estadística, matemática completa, su aplicación requiere de la definición de datos físicos de secciones transversales representativas del cauce y de la cota máxima alcanzada por el agua; pudiendo a partir de estos datos aplicar cualquier fórmula de canales. Otra forma de cálculo sería la ejecución de aforos directos.

Las fórmulas empíricas, son correlaciones basadas en datos reales de caudales observados en diferentes sitios y diferentes características de las cuencas, debido a esto los métodos empíricos son representativos de las condiciones propias de las regiones para los que han sido desarrollados; siendo los más usuales los siguientes:

- i) Fórmula de Fuller
- ii) Fórmula de Burki-Ziegler
- iii) Fórmula de Dickens
- iv) Fórmula de Mac-Math
- v) Fórmula de Rafael Heras.

En cuanto a los métodos hidrometeorológicos, puede decirse - que son aquellos que en una u otra manera, relacionan alguna variable meteorológica con una hidrológica; se clasifican en dos grupos:

- i) Método basado en la Fórmula Racional
- ii) Método basado en el tiempo de recorrido y almacenamiento en el cauce.
  - Método de las Isocronas
  - Variante de la Fórmula Racional
  - Hidrograma Unitario
  - Hidrograma Unitario Sintético
  - Hidrograma Triangular.

Los métodos estadísticos, están basados en el principio de que el comportamiento de una serie de información hidrológica, que se considera como variable continua y además aleatoria se les pueda aplicar los conceptos estadísticos. Estos métodos son aplicables siempre y cuando se cuente con registros de caudales bastante considerables; existen dos procedimientos que son aplicables dependiendo del tipo de información disponible, los cuales son:

- i) Ajuste de Caudales Máximos Instantáneos (Ajuste Gumbel).
- ii) Métodos partiendo del ajuste de caudales medios diarios y precipitaciones máximas diarias.

Entre los métodos de correlación, puede mencionarse el método del Soil Conservation Service (S.C.S.) el cual ha sido desarrollado por los hidrólogos del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El método considera como principales variables, el tipo de suelo (geología), el uso del suelo y la topografía de la zona ya que son los parámetros que poseen mayor incidencia en la generación de caudales máximos y además permiten cuantificar las cantidades de lluvia escurrida de acuerdo a la información física y climatológica de la zona.

#### 1.7 Metodología

Para poder cumplir con el principal objetivo de esta investigación, es necesario tipificar las cuencas en todo el país en base a sus características fisiográficas, para ello, se trazarán una serie de cuencas en cuadrantes escala 1:50000 - proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional. A estas cuencas, se les calcularán sus parámetros principales entre los que se pueden mencionar el área de recogimiento, la longitud del cauce más largo, la pendiente media, el rectángulo equivalente, etc.

Como una primera forma de agrupar las cuencas, se ha tomado como parámetro de comparación el rectángulo equivalente, estableciéndose para éste una relación lado largo a lado corto. Posteriormente y con el objeto de estrechar aún más la relación entre cuencas en cada grupo, se efectuarán análisis de correlación entre los demás parámetros que definen el comportamiento de una cuenca.

Como en pequeñas cuencas en nuestro medio, únicamente podemos emplear procedimientos de cálculo para análisis de crecidas basados en las intensidades máximas de lluvia, es necesario conocer como se comportan las intensidades máximas en todo el país; esta variable será presentada por medio de Mapas de Isolíneas de Intensidades Máximas para diferentes duraciones y períodos de retorno.

Para la elaboración de estos mapas se utilizará la información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional del Ministerio de Agricultura y Ganadería; ésta es la concerniente a intensidades máximas anuales, para todas las estaciones pluviográficas del país.

Los datos de intensidades máximas, serán analizados por medio del Método Probabilístico de Gumbel con el objeto de establecer el comportamiento de la lluvia en cuanto a su intensidad, Duración y período de Retorno (Curvas Intensidad-Dura

ción y Frecuencia) el cual será la base de los mapas de isolíneas de intensidades.

Para la generación del modelo, se utilizará el método del Hidrograma Triangular, como modelo de escurrimiento; éste involucrará como ya se dijo anteriormente los parámetros de mayor incidencia en la magnitud de la crecida máxima y considerará la respuesta de la cuenca ante el estímulo de la lluvia como un triángulo.

Una vez desarrollado el modelo, se someterá a verificación; ésta se realizará por medio del método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América; el cual se basa en el comportamiento hidráulico de la sección transversal del cauce en puntos representativos del sitio en análisis.

Dependiendo de los resultados obtenidos de esta verificación, se podrán realizar una serie de recomendaciones en cuanto a la utilización del modelo generado.

Para poder proporcionar recomendaciones en cuanto al predimensionamiento de las secciones hidráulicas, se utilizará la fórmula de Manning, haciendo variar sus parámetros para diferentes condiciones. Como se pretende que esta etapa también sea de fácil utilización se desarrollará un gráfico que proporcione el predimensionamiento hidráulico.

CAPITULO II

ASPECTOS HIDROCLIMATOLOGICOS  
=====

## CAPITULO II

### "ASPECTOS HIDROCLIMATOLOGICOS"

#### 2.1 Generalidades

El comportamiento hidrológico de una región, está íntimamente relacionado con una serie de características propias de la zona; entre estas características se destacan la geología, el uso del suelo y fundamentalmente el clima. La base de tal afirmación puede encontrarse en las principales fases del ciclo hidrológico.

Si se considera el ciclo hidrológico como la serie de etapas por las que atraviesa el agua en su recorrido por la naturaleza, puede decirse que las fases de evaporación, formación de la atmósfera, condensación y precipitación, forman parte de las variables climatológicas de la región; mientras que la escorrentía superficial, la infiltración y el flujo subterráneo dependen de la geología y el uso de los suelos.

Para cumplir con los objetivos propuestos para esta investigación y en base a lo expuesto anteriormente, se considera necesario desarrollar una descripción general de los principales factores que delimitan el comportamiento hidrológico, así como el desarrollo de la hidrología y la distribución de los recursos hídricos superficiales en el país.

## 2.2 Desarrollo de la Hidrología en El Salvador

La Hidrología es una ciencia muy antigua, su origen y desarrollo está marcado por el incremento de los asentamientos poblacionales, ya que éstos produjeron la necesidad de hacer un uso racional de los recursos hídricos destinados al consumo humano.

En el país, la Hidrología se inicia en los años de 1940 con la idea del aprovechamiento de los recursos hídricos del Río Lempa, con fines hidroeléctricos, idea que finaliza con la construcción de la Presa 5 de Noviembre en 1950, para lo cual fue necesario la recolección de datos meteorológicos que en una forma ordenada llevaban algunos caficultores y también el Ferrocarril de El Salvador casi desde 1930.

En 1950 un cuerpo de investigadores que formaban parte del Instituto de Investigaciones Tropicales ubicado en la Universidad de El Salvador, continua con investigaciones tanto meteorológicas como hidrológicas y geomorfológicas a nivel del país y se incentivó la idea de formar una institución que pudiera tomar todos los datos hidrometeorológicos en una forma ordenada y sistemática, es así como en 1959 se forma la Sección de Estudios Hidrológicos como una dependencia del Ministerio de Agricultura y Ganadería, institución que no logró cumplir su objetivo de recolectar y proporcionar información hidrometeorológica del país.

Es hasta el año de 1969 cuando la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través del Programa de las Naciones Unidas - para el Desarrollo (PNUD), promovió un programa para iniciar en forma ordenada y sistemática la investigación, desarrollo y almacenamiento de los recursos hídricos a nivel centroamericano, lo que demandaba que en cada país beneficiario del proyecto, debía existir una organización encargada de la evaluación e investigación de los recursos hídricos a nivel del país, con la condición de tener un carácter independiente de los usuarios del recurso, los cuales son tipificables con facilidad.

En base a ésto se formó el "Servicio Hidrológico y Meteorológico" como dependencia del Ministerio de Agricultura y Ganadería encargados de obtener, procesar, evaluar e investigar en forma sistemática y ordenada la información hidrometeorológica necesaria para un desarrollo integral y múltiple de los recursos hídricos. Luego de 20 años de recolección sistemática de datos hidrometeorológicos a nivel de país, se inicia un proyecto denominado "Plan Maestro para el Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos", el cual ha dado por resultado un Plan de Obras Hidráulicas a nivel nacional en donde se planifica el desarrollo y uso de los recursos hídricos y que actualmente ha permitido tener por lo menos un instrumento de planificación ordenado y en donde se ha compatibilizado el uso del recurso.

En la actualidad, el Servicio Meteorológico e Hidrológico se encuentra prácticamente inactivo debido a una serie de aspectos ajenos a ellos. Sin embargo en el país se cuenta con una serie de registros hidrometeorológicos de incalculable valor, los cuales se inician en algunas zonas desde los años 1940 - hasta 1978-1980 debido a que muchas estaciones fueron clausuradas a causa de las condiciones socio-políticas por las que atraviesa el país.

### 2.3. Descripción del Relieve Terrestre, la Geología y el Uso del Suelo en El Salvador

#### 2.3.1 Relieve Terrestre.

El país se encuentra constituido en su mayor parte por una topografía escabrosa y quebrada, siendo sus rasgos geomorfológicos más sobresalientes: La Planicie Aluvional Costera y los Valles, La Cadena Costera, La Meseta Central, La Cadena y Fosa Interior y las Cordilleras Fronterizas.

##### 2.3.1.1 La Planicie Aluvial Costera y Los Valles.

La planicie aluvial cóstera se extiende entre la desembocadura del Río Paz y el Río Goascorán. Constituye el desague natural de los ríos del país, es limitada al sur por el lito -

ral bañado por el Océano Pacífico y al norte por la Cadena Costera; abarca un poco más del 12% del territorio con un ensanchamiento máximo de 30 kms. en la desembocadura del río Lempa.

Se divide en tres zonas: la Occidental, la Central Meridional y la Oriental.

- i) Zona Occidental: Se extiende casi 65 kms. desde la desembocadura del Río Paz hacia el límite de los departamentos de Sonsonate y La Libertad, su máxima anchura la alcanza en la región fronteriza con Guatemala. Sus principales accidentes son los esteros de Garita Palmera y El Zapote y la Punta Remedios.
- ii) Zona Meridional-Central: Se extiende casi 130 kms. de NW a SE desde el departamento de La Libertad al departamento de Usulután, alcanzando su anchura máxima en la desembocadura del río Lempa. Sus accidentes geográficos más relevantes son el Estero de Jaltepeque y la Bahía de Jiquilisco.
- iii) Zona Oriental: Está situada al sur de la Cordillera Jucuarán-Intipucá, se extiende 15 kms. hasta el delta formado por el río Goascorán con un ancho promedio de 5 km. El Golfo de Fonseca; las Bahías de La Unión y El Tamaringo; las Puntas Chiquirín, El Jaguey y Amapala; los -

esteros de Managuara y Manzanilla, constituyen los accidentes geográficos más relevantes.

Los valles conforman el rasgo más característico del país - por su importancia económica, destacándose: el Valle del Río Lempa y sus afluentes, Río Grande de San Miguel, Sitio del Niño, Jiboa, Colima, Arcatao, Chalchuapa, y el Zalcuatitán o de Las Hamacas.

#### 2.3.1.2 La Cadena Costera.

Es una faja extendida de NW a SE, entre la Planicie Aluvional Costera y la Meseta Central, desde la margen izquierda del Río Paz hasta el Valle del Río Grande de San Miguel. Abarca un 12% del país. La vacía del Zapotitán, el curso inferior del río Lempa y el curso medio del Río Grande de San Miguel, la dividen en:

i) Sierra Occidental Apaneca-Ilamatepec.

Comienza al este de la margen izquierda del Río Paz y declina en el "Portillo de Armenia", sus principales elevaciones son los cerros Apaneca, Cachio, Las Ranas, El Aguila, San Juan o Cuyanansul, Los Naranjos, Verde; los volcanes Las Ninfas, Laguna Verde, Santa Ana o Ilamatepec, Izalco y San Marcelino.

ii) Sierra Central La Libertad-San Salvador-San Vicente.

Se extiende desde el "Portillo de Armenia" hasta la mar

gen derecha del Río Lempa. Atraviesa los departamentos de La Libertad, San Salvador, La Paz y San Vicente. Sus elevaciones más importantes forman las Cadenas de Los Izotes, San Benito, San Isidro, Danta, Zapotal y San Diego en el departamento de La Libertad, además abarca el Volcán de San Salvador o Quezaltepec, el Cerro San Jacinto o Amatepec y el Volcán de San Vicente o Chichontepec.

iii) Sierra Oriental Tecapa-Chinameca.

Se inicia en la margen izquierda del Río Lempa y finaliza en el valle del Río Grande de San Miguel, sus elevaciones más importantes son: los cerros Taburete, El Tigre y Oromontique; los volcanes de Tecapa, Usulután, Jucapa, Chinameca y San Miguel o Chaparrastique.

iv) Cordillera Jucuarán-Intipucá.

Está comprendida entre el extremo oriental de la Bahía de Jiquilisco y el Golfo de Fonseca, sus elevaciones más importantes son: Los Cerros El Mono, Madrecacao, Panela, Baúl y Buena Vista.

La anchura de la Cadena Costera, cambia debido a deformaciones tectónicas, se estrecha más en los puntos bajos y se ensancha en las elevaciones; posee muchos valles profundos y ríos cuyos cauces son paralelos, drenando la región en la dirección sur.

### 2.3.1.3 La Meseta Central.

Se localiza entre la cadena Costera y las Cordilleras Fronte<sup>u</sup>rizas Septentrionales, comprende el 20% del territorio del país y se extiende de W a SE casi 250 kms., posee un rango de variación en su altura que va de 400 a 800 msnm, su anchura es de 10 a 30 kms; se estrecha cerca de las ciudades de Chalchuapa, San Salvador y Usulután y se ensancha cerca de Ciudad Arce, San Vicente y El Carmen. Presenta lagos (Coatepeque e Ilopango), llanuras, valles, colinas, macizos, volcanes y numerosos ríos. Los volcanes El Chingo, Guazapa y el cerro Cacahuatique, constituyen sus principales elevaciones.

### 2.3.1.4 La Cadena y la Fosa Interior.

#### i) La Cadena Interior.

Se extiende entre la Fosa Interior, el centro y norte del departamento de Santa Ana y la Cordillera Fronteriza; es una estribación de la Sierra Madre de Guatemala; sus principales elevaciones son: Singuil, Pinalón, Pinalito, Texistepeque, Camones, La Coyota, Tecana, Chamula y El Salitre.

#### ii) La Fosa Interior.

Posee unos 70 kms. de longitud, está situada al NW del país entre la Meseta Central y la Cordillera Interior ; morfológicamente es una llanura regada por los ríos Lempa y Desagüe.

### 2.3.1.5 Las Cordilleras Septentrionales Fronterizas.

Están situadas al norte en la línea fronteriza con la República de Honduras, las más importantes son:

#### i) La Cordillera Alotepeque-Metapán.

Es una estribación de las montañas de Chiquimulilla que forma parte de la Sierra Madre de Guatemala; al penetrar en el país se ramifica hacia el norte del departamento de Santa Ana (Metapán), norte y centro del departamento de Chalatenango; sus elevaciones más importantes son los cerros de Montecristo, Miramundo y El Brujo, en el departamento de Chalatenango son notables las estribaciones de: Higueras, Izotal, Manzanillo, El Caracol y el Cerro del Pital que constituye la cima montañosa más elevada del país (2730.06 msnm).

#### ii) La Cordillera de Nahuaterique.

Se localiza al norte del departamento de Morazán y La Unión, su máxima elevación es el Cerro El Mono; otras elevaciones importantes son los cerros Chagualaca o Marquesote, El Alumbrador, La Ardilla, El Zancudo, López y Ribita.

En el departamento de San Vicente se elevan las pequeñas cordilleras de Monteros y Teconal-Siguatopeque y entre los departamentos de San Miguel y Morazán, la Cordillera Cacahuatique-Corobán.

### 2.3.2 Geología

El Salvador ocupa una planicie volcánica disectada con un manto de materiales volcánicos que cubre dos tercios del territorio; el otro tercio es el aluvión reciente de la llanura costera. También se encuentran aluviones en el fondo de los anchos valles entre las montañas y las faldas de la Cordillera Costera; estos aluviones se derivan de la descomposición y de la erosión de las rocas basálticas y andesitas de la Cordillera Costera y las reolitas y dacitas de las montañas que bordean el río Lempa.

Las características principales que describen algunos aspectos del territorio son: Elementos geológicos, estratigráficos y tectónicos.

Debido a la naturaleza de esta investigación, se tratarán únicamente los elementos geológicos y los elementos estratigráficos.

#### 2.3.2.1 Elementos Geológicos.

##### i) Formaciones Sedimentarias.

Existen rocas sedimentarias marinas solamente en el extremo NW, cerca de Metapán, donde cubre un área de 200 km<sup>2</sup> una sucesión litológica de rocas clásticas.

Fuera de estas series marinas, en el país solamente se conocen rocas sedimentarias lacustres y fluviales, que

tienen extensiones muy limitadas de productos redepositados, donde se encuentran depósitos de diatonita y lignito de carácter calcáreo.

También se localizan aluviones a lo largo de los ríos más importantes y en depresiones locales, sobre todo en las planicies costeras de la parte SW y SE donde cubren un área de 3500 km<sup>2</sup>.

ii) Formaciones Volcánicas.

La mayor parte del territorio está cubierto por rocas - de origen volcánico de carácter riolítico hasta basáltico. Al norte de los ríos Lempa y Torola, afloran rocas de carácter ácido como riolitas hasta dacitas; ciertas partes están cubiertas por una serie volcánica de una sucesión que lleva de andesitas a basaltos y aglomerados de carácter andesítico; con estos tipos de rocas es tán formadas algunas regiones como la Sierra Tacuba, Cordillera El Bálsamo, Cordillera Jucuarán-Intipucá y la parte norte de Santa Ana.

También se encuentran formaciones volcánicas que se deben a vulcanismo individual, distinguiéndose dos zonas volcánicas una al sur de las montañas septentrionales - con una faja de volcanes individuales que la atraviesa, siendo éstos el Volcan de Guazapa y el Volcán de Caca - huatique. Todos están caracterizados por su alto grado de erosión; sus productos efusivos son lavas de carác -

ter basáltico y tobas de diferente compacidad.

La otra zona de volcanes individuales existe al sur en forma paralela a la anterior, perteneciendo a ésta más de 50 volcanes individuales, tales como Laguna Verde , Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, Tecapa , San Miguel, Conchagua; todos bien conservados y algunos todavía activos.

El carácter de las lavas producidas es el basáltico; la mayoría de los productos piroclásticos son de carácter dacítico.

### iii) Formaciones Intrusivas.

En las montañas septentrionales, cerca de Metapán y Chaltenango, se conocen rocas intrusivas de carácter granítico-diorítico, donde están en contacto con las series sedimentarias marinas; éstas demuestran una metamorfosis de contacto, observado en las capas calcáreas.

Al sur de San Miguel y hasta San Isidro, se encuentran profusiones de carácter muy ácido, éstas son conectadas a yacimientos metalíferos subvolcánicos que se encuentran bajo la cubierta de basalto andesítico.

### 2.3.2.2 Elementos Estratigráficos.

En el perfil estratigráfico más generalizado basado en conocimientos actuales se aprecian los siguientes estratos:

i) Aluvión (Reciente)

Se localizan gravas, arenas y arcillas a lo largo de los ríos y en depresiones locales.

ii) Estratos de San Salvador (Pleistoceno hasta Holoceno)

En la cadena volcánica joven que atraviesa la parte sur del país, se localizan productos extrusivos de los volcanes individuales.

Las corrientes de lava, cúpula de lava, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, se encuentran a veces con intercalaciones de sedimentos lacustres. Suelos fósiles.

iii) Estratos de Cuscatlán.

En la cadena volcánica vieja que atraviesa la parte norte del país, se localizan productos efusivos de volcanes individuales. La corriente de lava, aglomerados, tobas, escoria, cenizas volcánicas endurecidas y tobas fundidas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. Suelos fósiles rojos de poca profundidad.

iv) Estratos de la Cordillera del Bálsamo. (Plioceno)

Abundan aglomerados con intercalaciones de tobas volcá-

nicas endurecidas y corrientes de lava basáltica. Sue - los fósiles de color rojo se encuentran a una profundi - dad de hasta 20 mts. cubiertos con rocas extrusivas con pocas intercalaciones de tobas volcánicas y aglomerados.

v) Estratos de Chalatenango (Mioceno Superior)

Existen rocas volcánicas ácidas de carácter reolítico a dacítico; prevalecen rocas muy endurecidas de colores - claros.

vi) Estratos de Morazán (Mioceno)

Se localizan rocas efusivas, básicas intermedias, áci - das, piroclásticas, tobas ardientes, riolitas y epiclás - ticas volcánicas.

vii) Estratos de Metapán (Mioceno Inferior)

Se localizan areniscas finas de color rojo violeta, con bancos de conglomeraciones cuarcíticas; hacia abajo con conglomerados rojos de caliza con capas de arenisca.

### 2.3.3 Uso del Suelo

El Salvador, ha sido dividido en once cuencas hidrográficas, las cuales serán analizadas más adelante.

Tomando como base esta regionalización hidrográfica, puede - hacerse una descripción del uso del suelo en cada una de es - tas zonas.

i) Cuenca del Río Paz.

El café cultivado en las faldas de la Sierra Apaneca - Ilamatepec, constituyen un 24% del área; un 21% de granos básicos y un 26% es cultivado de pastos, siendo éstos en su mayor parte localizados en el Valle Central; el resto del área es plantado con una diversidad de - cultivos.

Es importante a nivel del país, la explotación geotér- mica que se efectúa en esta región, además el 11.5% - del área total (17000 Ha), presenta posibilidad de - riego. Por otro lado, se cuenta con bosques Serrano-Mesofíticos, semi-húmedos, Caducifolios, Sabanas Semi-hú- medas y sabanas secas.

Entre los diferentes tipos de suelos, pueden citarse - los siguientes: Latosoles arcillo rojizos y litosoles (fases pedregosas superficiales y onduladas a montaña- sas muy accidentadas), grumsoles litosoles y latoso - les arcillo rojizos (fases de casi a nivel a fuertemen- te alomadas), litosoles y regosoles (fase ondulada a montañosa muy accidentada), suelos aluvionales y grumo- soles ( fase profunda y ligeramente a nivel), regosoles, latosoles y pardo forestales (fases alomadas o montaña- sas accidentadas), suelos regosoles y aluviales (fase casi a nivel a ligeramente inclinada) y pantanos suje- tos a las mareas.

ii) Cuenca entre los Ríos San Francisco y Copinula.

Los productos agrícolas más cultivados en esta zona - son: El café (15%), granos Básicos (26%) y en menores porcentajes pueden citarse: el algodón, caña de azúcar. Existe en esta región, una estrecha franja con posibilidades de riego (12.7%), localizada al sur y paralela a la costa. En su mayor parte, la capacidad del suelo es de uso semi-intensivo; la flora, está constituida - por bosques Serrano-Mesofíticos, semi- húmedos caducifolios y bosques salados.

Existen suelos aluvionales, regosoles, latosoles, litosoles, grumosoles y halofórmicos; predominando los regosoles, que debido a su baja posición y su proximidad a los ríos y esteros, sufren de inundaciones o se mantienen en condiciones de mal drenaje.

iii) Cuenca entre los Ríos San Pedro-Sensunapán-Banderas.

En esta zona, el uso del suelo está destinado al cultivo del café (31.4%) granos básicos (19.4%), algodón y caña de azúcar en menor escala, presenta un gran potencial para riego (21.5%).

La vegetación natural, está constituida por bosques nebulosos Serrano Mesofíticos, semi-húmedos y caducifolios localizados en el sector norte. El suelo, presenta las características de capacidad de retención, profundidad y fluctuaciones del nivel freático.

iv) Cuenca entre los Ríos Pululuya-Comalapa

La producción de las áreas sembradas de café (20.3%) , ubicadas en las faldas de la cadena costera, constituyendo el rubro más importante del sistema; el 18% del área, está cultivado de granos básicos y un 25.9% de pastos. Además de estos cultivos, se producen en menor escala la caña de azúcar y el algodón.

Aparte de una relativa pequeña zona, localizada al Sur Este, adyacente al área de drenaje del Río Jiboa, que presenta moderadas limitaciones para el riego, el resto no presenta posibilidades debido a la difícil topografía dominante.

La flora, está constituida por bosques semi-húmedos caducifolios, bosques mesofíticos y bosques húmedos perennifolios. Los principales tipos de suelo son: aluvia - les, regosoles, latosoles, litosoles , grumosoles y halofórmicos.

v) Cuenca del Río Jiboa.

Esta región, está cultivada en un 20.4% por granos básicos, un 25.8% de pastos y un 42.62% se planta con una diversidad de cultivos (algodón, caña de azúcar, café, entre otros); el 11.18% restante, lo constituye el área del Lago de Ilopango.

Su flora, está formada por bosques salados, perennifolios y Sabanas semi-húmedas.

Al norte de la zona y alrededor del Lago de Ilopango , existen regosoles, latosoles arcillosos rojizos y pardo forestales; hacia el sur, suelos regosoles y aluviales.

vi) Cuenca entre los Ríos Jalponga y Otros.

El uso del suelo en esta zona, está destinado al cultivo de granos básicos( 17.4% ) , algodón (14.8%), pastos (34.3%) y en menor escala café, caña de azúcar, entre otros.

Al sur-oriente, se localiza un área de pantanos, sujetos a las mareas, playas costeras y suelos pluviales ; la vegetación en esta zona está constituida por bosques salados.

En la Planicie Central Sur de la región, existen suelos regosoles y pluviales, su vegetación está formada por bosques húmedo-subtropical y cultivos varios (algodón, cereales, pastos y otros).

Al sur-poniente de la ciudad de Zacatecoluca, se localiza un área de latosoles arcillosos rojizos y pardo forestales, presentándose bosques húmedos sub-tropicales y vegetación variada.

En las faldas del volcán de San Vicente y las lomas del Nor-Oriente de la región, la cobertura vegetal va de bosque húmedo sub-tropical a bosque muy húmedo montañoso bajo sub-tropical.

vii) Cuenca del Río Lempa.

La mayor concentración de cultivos, la componen los pastos (38.8%), granos básicos (17.8%), café (9.2%) y en menor cantidad la caña de azúcar, algodón, etc.

La flora, comprende especies de plantas maderables coníferas, textiles, etc.

La vegetación de las tierras cálidas, la forman bosques húmedos, perennifolios; en las tierras templadas la vegetación está constituida por bosques Serrano-Mesofíticos y en tierras frías por bosques nebulosos y sabanas altas.

Los suelos latosoles arcillo rojizos y litosoles, son los predominantes ya que ocupan un 90% del área total de esta región.

viii) Cuenca del Río Grande de San Miguel.

Su uso está destinado al cultivo de granos básicos (18.9%), pasto (36.7%), algodón (13.2%) y otros en menores cantidades como lo es el café, caña de azúcar, maguey, etc.

Su vegetación está formada por bosques Serrano-Mesofíticos (Cordillera Cacahuatique), sabana semi-húmeda (márgenes Río Grande de San Miguel), bosques salados, etc.

- ix) Cuencas entre los Ríos Grande de San Miguel-Siramá, Goascorán y Otros.

En el sistema, predomina el uso agropecuario, ya que un 41.3% de su área se cultiva para pasto y un 18.6% de granos básicos. Su vegetación, está formada por bosques Serrano-Mesofíticos, bosques semi-húmedos en terrenos bajos, perennifolios y salados.

Los diferentes tipos de suelos son ando-latosoles arcillosos rojizos, litosoles, grumosoles y lito-ando-soles.

- x) Cuenca entre los Ríos El Potrero-El Molino.

Toda la llanura costera de Usulután, se utiliza para el cultivo de algodón, granos básicos y pastos, existiendo en la región, aunque en menor escala, cultivos de café, caña de azúcar, entre otros.

Su vegetación, está conformada por bosques semi-Húmedos (Centro de la zona), bosques Serrano-Mesofíticos, Sabanas Secas y húmedas (llanura aluvial), bosques perennifolios (márgenes del río) y bosques salados.

## 2.4 Hidrología de El Salvador

### 2.4.1 Definición y División de la Hidrología

La Hidrología es la ciencia que estudia las aguas terrestres, su origen, su movimiento y su repartición en el planeta; sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el medio ambiente físico y biológico y su influencia sobre las actividades humanas.

Según esta definición, la Hidrología responde a la satisfacción de las necesidades de los seres humanos, procurando no perturbar el medio ambiente.

Una definición más simplista, en el sentido de la palabra, la Hidrología es la ciencia que trata de la hidrósfera y los fenómenos del agua que en ella ocurren.

En base al espacio físico donde se encuentra confinada el agua la Hidrología se clasifica en:

- i) Hidrometeorología : Estudia los fenómenos meteorológicos y su relación directa con la Hidrología.
- ii) Potamología : Estudia las aguas superficiales (ríos, torrentes y riachuelos).
- iii) Limnología : Estudia los lagos.
- iv) Oceanografía : Estudia los océanos.
- v) Pedohidrología : Estudia el agua de la zona de airea

ción del suelo.

- vi) Geohidrología : Estudia las aguas freáticas en el primer horizonte del suelo.
- vii) Hidrogeología : Estudia las aguas subterráneas.

Otra forma de clasificar la Hidrología, es dependiendo de la secuencia de la investigación que se realice, bajo este concepto se divide en:

- i) Hidrometría : Estudia las observaciones y los medios del agua, así como sus características.
- ii) Hidrografía : Descripción geográfica regional de los fenómenos hídricos.
- iii) Hidrología Científica : Investiga las causas y las secuencias de los fenómenos hídricos y sus relaciones funcionales.

#### 2.4.2 Períodos Meteorológicos Principales

Desde el punto de vista meteorológico, se ha establecido que en el país hay dos estaciones: La estación seca y la lluviosa y dos transiciones: la seca lluviosa y la lluviosa seca.

Durante el año hidrológico mayo-abril, el período lluvioso se inicia a finales de mayo y termina a mediados de octubre, seguido de una transición lluviosa seca de mediados de octu-

bre a principios de noviembre. La estación seca, se extiende de principios de noviembre a mediados de abril, seguida por la transición seca lluviosa de mediados de abril a fines de mayo.

Este comportamiento de la precipitación pluvial, ocasiona en los ríos los períodos acuáticos siguientes:

- i) Período de Aguas Altas, de junio a octubre.
- ii) Período de Aguas Bajas, de diciembre a abril.
- iii) Período de Transición, en mayo y noviembre.

#### 2.4.3 Regionalización Hidrológica del País

En base a ciertas características como lo son: la geología , cobertura vegetal, topografía y suelo, el sistema hidrográfico nacional ha sido dividido en once grandes cuencas con el objetivo de facilitar su estudio y caracterizar su comportamiento hidrológico, estas cuencas son:

- i) Cuenca del Río Lempa
- ii) Cuenca del Río Paz
- iii) Cuenca entre los Ríos San Francisco-Copinula
- iv) Cuenca entre los Ríos San Pedro-Sensunapán-Banderas
- v) Cuenca entre los Ríos Pululuya-Comalapa
- vi) Cuenca del Río Jiboa
- vii) Cuenca entre los Ríos Jalponga y otros.

- viii) Cuenca entre los Ríos El Potrero-El Molino
- ix) Cuenca del Río Grande de San Miguel
- x) Cuenca entre los Ríos Grande de San Miguel-Siramá
- xi) Cuenca de los Ríos Goascorán-Siramá y otros.

(Ver fig. 2.2).

#### 2.4.3.1 Cuenca del Río Lempa

Comprende parte de los países de Honduras, Guatemala y casi la mitad de El Salvador. Se localiza entre los paralelos 13° 10' y 14°43' LN y los meridianos 87°45' y 90°10' LW. El partearguas de la cuenca está definido en casi todo su perímetro, excepto entre el Lago de Guija, la Laguna de Atescatempa y 30 kms. antes de su desembocadura en el Océano Pacífico.

La mayor elevación, en el interior de la cuenca, es el Cerro del Pital (2730.06 msnm) localizado en la Cordillera Alotepeque-Metapán; su perímetro alcanza una elevación máxima de 2800 msnm en la cuenca del Río Mocal en Honduras.

El Lempa nace en las Montañas de Ocotepeque, penetrando al país un km. al norte de la Villa de Citalá; su cuenca posee un área de 18240 km<sup>2</sup>, la longitud del cauce principal es de 389 kms. y una pendiente media del 11%.

#### 2.4.3.2 Cuenca del Río Paz

Esta cuenca se extiende en los países de El Salvador y Guatemala, está localizada entre los paralelos  $13^{\circ}14'$  y  $14^{\circ}25'$  LN y los meridianos  $89^{\circ}35'$  y  $90^{\circ}10'$  LW. Mide  $2011 \text{ km}^2$ , de los cuales  $863 \text{ km}^2$  están en territorio salvadoreño y  $1148 \text{ km}^2$  en territorio guatemalteco. Su cauce más largo mide 103 kms. y el cauce principal 83 kms, posee una pendiente media de 22.3%.

#### 2.4.3.3 Cuenca entre los Ríos San Francisco-Copinula

Se localiza en la región occidental del país, su elevación - máxima es el Volcán de Santa Ana. Puede ser considerada como de alta escorrentía superficial, poca erosión y cobertura vegetal aceptable. Sus ríos más importantes son el San Francisco, Cara Sucia, El Rosario, Los Naranjos, Copinula, Sacramento, Guayapa y Sunzacuapa. Las longitudes de estos cauces varían entre 15 y 20 kms. con una pendiente media de 22.3%.

#### 2.4.3.4 Cuenca entre los Ríos San Pedro-Sensunapán-Banderas

Está localizada entre los volcanes de Izalco y Santa Ana, posee una cobertura vegetal aceptable. Sus cauces bajan por cañones escarpados y a la altura de la ciudad de Sonsonate comienzan a internarse en el valle que mide 15 kms. de ancho - aproximadamente, siendo el río más importante el Sensunapán.

Cuenta con una pendiente media del 15.2% y una longitud del cauce más largo de 25.6 kms.

#### 2.4.3.5 Cuenca entre los Ríos Pululuya-Comalapa

La forman pequeñas cuencas que se originan en la cima de la Cordillera del Bálsamo, sus cauces son de corta longitud; poseen baja permeabilidad, alta escorrentía superficial y poca precipitación, poca cobertura vegetal. Sus principales subcuencas la forman los ríos: Pululuya, Acachapa, Mizata, Comasagua, Chilama, Jutillo, Huiza, Tihuapa, Panchimilama y Comalapa. Su cauce más largo es de 35 kms. con una pendiente media de 28.6%.

#### 2.4.3.6 Cuenca del Río Jiboa

El Río Jiboa nace en el Cantón Copinol, jurisdicción de San Rafael Cedros; sirve de desagüe superficial al lago de Ilopango, pasa por cañones que tienen de 10 a 15 mts. de profundidad, luego se interna en la planicie aluvial costera y desemboca en el Océano Pacífico. Esta cuenca posee baja permeabilidad, escasa vegetación; sus principales afluentes son: Amojapa, Tilapa, Sepaquiapa, San Ramón, Chacalapa y El Jícaro. Su cauce más largo posee una longitud de 59.5 kms. con una pendiente media del 22.9% y un área de recogimiento de 575 km<sup>2</sup>.

#### 2.4.3.7 Cuenca entre los Ríos Jiboa y Lempa

Sus ríos son de corto recorrido, tienen su origen en las faldas del Volcán de San Vicente por lo que su recorrido es radial, pero al llegar a la llanura costera sus cauces son paralelos a los ríos Lempa y Jiboa. Por la pendiente baja de la llanura costera existen problemas de drenaje además la zona posee baja permeabilidad.

Sus ríos más importantes son: Jalponga, Nuestro Amo, Champato, Apanta, Chichima, Sapuyo, Terrero, Aguacata, Huiscoyolapa y Amates o San Lorenzo. Su cauce más largo mide 45.1 kms. y posee una pendiente media del 7.0%.

#### 2.4.3.8 Cuenca entre los Ríos El Potrero-El Molino

Está conformada en su mayoría por ríos de corto recorrido, que tienden a desaparecer debido a la formación aluvional del terreno por el que cruzan. Sus cauces más importantes son: El Potrero, San Lázaro, Aguacayo, El Progreso, El Cacao, Nana Chepa, Gutiérrez, El Papayal, El Eje y El Molino. Su cauce más largo mide 23 kms. con una pendiente media del 7%.

#### 2.4.3.9 Cuenca del Río Grande de San Miguel

Es la segunda cuenca de importancia en el país, está situada entre las coordenadas 13°10' y 13°46' LN y 88°00' y 88°28' -

LW. Posee una red muy ramificada en la región superior.

Su máxima elevación la constituye el Volcán Chaparrastique o de San Miguel siendo sus afluentes más importantes los ríos: Seco, Villerías, Los Amates, San Antonio Chávez o Guayabo , San Esteban, Taisihuat, Ereguayquín, Papalón, Miraflores y Chilanguera. Posee un área de recogimiento de 2246.8 km<sup>2</sup>, una longitud del cauce más largo de 137.0 kms. y una pendiente media de 12.49%.

#### 2.4.3.10 Cuenca entre los Ríos Grande de San Miguel y Siramá

Esta cuenca la forman ríos con un recorrido máximo de 5 kms, provienen de las montañas de Jucuarán. Puede ser considerada como poco permeable, de alta escorrentía superficial, poca cobertura vegetal y poco sedimento. Sus ríos principales son: Ringlera, El Encanto, Limón, Managuara, Guamas, Maderas y otros. Posee una pendiente media del 24%.

#### 2.4.3.11 Cuenca entre los Ríos Goascorán-Siramá y otros

Los ríos Goascorán y Siramá forman una cuenca de baja permeabilidad, alta escorrentía, poca vegetación y sedimentos. Sus principales afluentes del río Goascorán en El Salvador son : Guajimiquí o Pescado, Güeripe, Grande de Anamorós o El Sauce y Pasaquina; los afluentes del Río Siramá son: Ceibillo , Santa Cruz, Paraná.

#### 2.4.4 Limnología de El Salvador

En el país los embalses naturales son clasificados como lagos y lagunas; los lagos son de mayor importancia por su riqueza en recursos naturales renovables, contándose entre ellos: Ilopango, Coatepeque y Guija.

Las lagunas son de menor importancia en recursos naturales renovables y pueden clasificarse por su origen en:

- i) Lagunas de origen Cratérico como son: Cuscachapa, Chachuapa, Apastepeque, Alegría, Las Ninfas, Verderras y Chanmico.
- ii) De origen Tectónico como son: Metapán, Olomega, San Juan, Los Negritos, Aramuaca, Llano del Espino, Managuara, Nahualapa, El Jocotal.

Además dentro de la limnología pueden considerarse los lagos artificiales o embalses dentro de los cuales tenemos: Guajoyo, 5 de Noviembre, Cerrón Grande, San Lorenzo y 15 de Septiembre.

Los principales lagos y lagunas naturales representan un área de  $163.7 \text{ km}^2$  (0.8% del territorio nacional).

#### 2.5 El Clima de El Salvador

Se llama Clima, al conjunto de fluctuaciones de las condicio

nes atmosféricas, caracterizadas por los estados y la evolución del tiempo de un dominio especial determinado.

El clima está constituido por el conjunto de valores medios de los parámetros meteorológicos como lo son la intensidad de radiación, duración de la insolación, temperatura del aire, presión atmosférica, viento, evaporación, humedad del aire, nubosidad y la precipitación.

Dados los objetivos de esta investigación, se describirán únicamente los aspectos más relevantes del clima en el país y fundamentalmente la precipitación.

Debido a su posición en el globo terráqueo, El Salvador se encuentra localizado en la parte exterior del Cinturón Climático de los Trópicos, por lo que durante todo el año existen condiciones térmicas más o menos iguales. Además las precipitaciones atmosféricas presentan grandes oscilaciones durante todo el año y de año en año, aún durante la estación lluviosa.

En el país desde el punto de vista meteorológico, como ya se mencionó antes hay dos estaciones y dos transiciones durante el año. Erroneamente, se acostumbra a denominar "Invierno" a la estación lluviosa y "Verano" a la estación seca, que para la Meteorología y Astronomía es todo lo contrario. Por esta razón es recomendable usar únicamente los términos "Estación"

y "Transición".

Las estaciones y transiciones meteorológicas que se presentan en el país han sido observadas durante 50 años aproximadamente y se han establecido los siguientes promedios para principios y final de estaciones:

- i) Estación Seca: Se inicia el 14 de noviembre y finaliza el 19 de abril, posee una duración de 157 días (22.5 semanas).
- ii) Transición Seca-lluviosa: Se inicia el 20 de abril y finaliza el 20 de mayo con 31 días de duración( 4.5 semanas).
- iii) Estación Lluviosa: Se inicia el 21 de mayo y termina el 16 de octubre, posee una duración de 149 días (21 semanas).
- iv) Transición Lluviosa-seca: Se inicia el 17 de octubre y finaliza el 13 de noviembre, posee una duración de 28 - días (4 semanas).

Estos períodos en los últimos años (80-88) se han visto desfasados principalmente en la zona oriental en donde la estación lluviosa se ha iniciado en algunas ocasiones hasta el mes de junio y ha finalizado en los últimos días de septiembre; aunque la precipitación promedio anual se ha mantenido al igual que en los años anteriores lo cual ha provocado in-

tensidades de lluvia altas y como consecuencia de ésto grandes crecidas.

### 2.5.1 Distribución del Clima en el Año

#### i) Enero y Febrero

Pertenecen siempre a la estación seca; solamente en las regiones montañosas del norte, arriba de los 2000 msnm, pueden ocurrir precipitaciones durante todo el año. En el último tercio de enero pueden ocurrir también precipitaciones débiles relacionadas con frentes o vaguadas.

El carácter del tiempo en estos meses es subtropical, seco y con mucho brillo de sol, pero no necesariamente caliente.

#### ii) Marzo y Abril

En estos meses se alcanzan los valores máximos de temperatura; normalmente marzo es seco como enero, sin embargo en abril ocurren los primeros chubascos iniciándose en casi todo el país la transición seca-lluviosa.

El carácter del tiempo en marzo es subtropical seco y caliente. En abril las cantidades medias de lluvia oscilan entre los 40 y 60 mm. en el occidente y centro a 30 mm. en el oriente del país. Es un típico mes de transición, normalmente es el mes más caliente del año.

## iii) Mayo-Junio

En estos meses se inicia la estación lluviosa. El carácter del tiempo, se ve cada vez más dominado por sistemas sinópticos del Mar Caribe, sobre todo por las ondas de inestabilidad que favorecen en forma decisiva la actividad de chubascos y tormentas eléctricas. Ya en junio ocurre normalmente un temporal.

Las cantidades mensuales máximas de precipitación, en el mes de mayo han sido observadas en el oriente del país y en junio en la zona central.

## iv) Julio y Agosto

Pertenecen a la estación lluviosa, mostrando siempre su comparación de junio y septiembre, un cambio en el carácter de la actividad lluviosa que se concentra más en horas de la noche y es menos productiva sin que el número de días con lluvia experimente alguna disminución. En consecuencia, las cantidades de lluvia en estos meses son menores que en junio, septiembre y octubre.

En término medio, las lluvias de julio y agosto representan cada uno el 16% de la cantidad total del año existiendo algunas diferencias regionales de gran importancia.

## v) Septiembre y Octubre

Pertencen al último tercio de la estación lluviosa, - siendo septiembre el mes más lluvioso del año, iniciándose en octubre la transición lluviosa seca.

En estos meses el régimen de lluvia, está determinado - por las influencias de fenómenos atmosféricos del Océano Pacífico.

Las precipitaciones en septiembre con un promedio de 20 a 24 días con lluvia y en octubre de 15 días con lluvia, generalmente ocurren en forma de chubascos y aguaceros acompañados frecuentemente por tormentas eléctricas; sin embargo en septiembre existe la máxima probabilidad de ocurrencia de un temporal.

En octubre, la transición lluviosa-seca, se anuncia con períodos sin lluvia originados por los primeros nortes. Esta época se caracteriza por una disminución considerable de la actividad lluviosa, pudiendo sin embargo, ocurrir temporales como el de fines de octubre de 1957 y el fuerte temporal de noviembre de 1963.

## vi) Noviembre y Diciembre

Forman parte de la estación seca. En diciembre en todo el país no se registran cantidades mayores de 10 mm.

La influencia de los nortes que transportan masas de ai

re frío de Norte América hacia El Salvador ocasionan una disminución de la temperatura a fines de año.

### 2.5.2 Zonas Climáticas

En base a la clasificación climatológica desarrollada por Köppen, Sapper y Laver en términos de la altura sobre el nivel del mar, El Salvador se divide en tres zonas climales las cuales se presentan en la fig. No. 2.3 y se describen a continuación:

i) Sabanas Tropicales o Tierras Calientes.

Se da en regiones con elevaciones de 0 a 800 msnm. La temperatura máxima se da poco antes de la estación lluviosa (marzo-abril), el mes más caluroso alcanza 22°C y más y las temperaturas anuales varían según la altura ; en las planicies costeras varía de 22°C a 27°C y en las planicies internas entre 22°C y 28°C. En esta zona están localizadas todas las cabeceras departamentales del país, excepto Cojutepeque y Nueva San Salvador (Deptos. de Cuscatlán y La Libertad, respectivamente).

ii) Sabanas Tropicales o Tierra Templada.

Este tipo de clima es propio de las regiones con elevaciones que van de 800 a 1200 msnm. En estas zonas, la temperatura del mes más caluroso es menor de 22°C, pero

por lo menos cuatro meses del año tienen una temperatura mayor de 10°C.

Las temperatura anuales varían respecto a la altura, en las planicies altas y valles varía entre 20°C y 22°C y en las faldas de las montañas entre 19°C y 21°C. En esta zona están ubicadas las ciudades de Cojutepeque y Nueva San Salvador.

iii) Clima Tropical de las Alturas.

Se da en regiones con elevaciones de 2000 a 2700 msnm . Considerándose aún como tierra templada las zonas con elevaciones de 1200 a 1800 msnm donde las temperaturas oscilan entre 20°C y 16°C con posibles heladas en diciembre, enero y febrero. En las faldas de las montañas oscila entre 19°C y 16°C sin peligro de helada. De los 1800 a 2700 msnm la zona puede considerarse como tierra fría oscilando su temperatura según la altura; produciéndose en los valles y hondonadas escarchas y heladas todos los años.

### 2.5.3 Tipos de Lluvia

Según Lessman, los tipos de lluvia que se presentan en El Salvador, pueden clasificarse de la manera siguiente:

i) Chubascos ocasionados sólo por los efectos de ondas de

inestabilidad, su duración varía de 5 minutos hasta 2 - horas con intensidad moderada produciendo cantidades de lluvia de hasta 50 mm .

- ii) Chubascos ocasionados por el fortalecimiento de las ondas de inestabilidad a causa de una advención de aire marítimo tropical o por zonas de inestabilidad desde el Pacífico, cuya duración es hasta de 8 horas con intensidades moderadas a fuertes produciéndose hasta 100 mm y ocasionalmente 150-180 mm de lluvia.
- iii) Lluvias atemporaladas. Su duración es de 10 a 24 horas, su intensidad varía de débil a moderada extendida y continua, ocasionando hasta 150 mm de lluvia.
- iv) Lluvias de temporal. Son producto de la incidencia de los huracanes en el país. Se presentan con duraciones - de 24 a 72 horas con intensidad débil a moderada extendida y continua, producen 100 a 300 mm de lluvia, ocasionalmente 500 a 600 mm y raramente de 800 a 1000 mm.

#### 2.5.4 Incidencia de los Huracanes

Según su localización e intensidad de viento que desarrolle los huracanes son conocidos como tifón, baguío o ciclón; son considerados por su aspecto devastador como la fuerza más - destructora de la naturaleza.

Un huracán es una especie de remolino en la atmósfera girando en el sentido contrario de las agujas del reloj que succiona aire húmedo circundante y lo eleva masiva y violentamente con el resultado de generar lluvias de larga duración, gran intensidad además vientos fuertes.

Una teoría muy aceptada sobre el origen y dispersión de un huracán es la que supone su formación por influencia del flujo constante del oeste o vientos alisios cuando soplan a fines de verano sobre mares cuyas temperaturas es por lo menos de 27°C. El primer paso en el nacimiento de un huracán se presenta al desviarse hacia el norte parte del viento del este, a una baja presión. Los vientos comprimidos se amontonan unos sobre otros y el aire caliente se eleva unos 12000 mts. La rotación de la tierra comunica un giro a la columna ascendente que adquiere forma de un cilindro que gira alrededor de un núcleo de aire caliente y húmedo.

Las zonas más apropiadas para la formación de huracanes se encuentra en los mares tropicales cálidos donde el aire está cargado de humedad y energía calórica latente y se encuentran distribuidos en seis sitios, en los Océanos Atlántico y Pacífico Norte, Indico y en los mares de China, Arabia y Caribe.

Las condiciones requeridas para que un fenómeno de esta naturaleza se produzca son:

- i) Aire quieto que permite un intenso calentamiento de las capas bajas, con ello da origen a una inestabilidad seguida de rápida inversión.
- ii) Suficiente distancia del Ecuador para que se produzca el movimiento vertiginoso.

En cada Océano el área de producción de huracanes, se encuentra en el lado occidental porque allí se acumula el agua caliente de la zona ecuatorial a consecuencia de las corrientes oceánicas proporcionando con ello una abundante provisión del vapor de agua para fomentar la tormenta.

Los ciclones tropicales describen en su marcha un marco de aspecto parabólico con vértice vuelto hacia el oeste de manera que naciendo hacia el Ecuador comienza por seguir la dirección noroeste en el hemisferio norte suroeste en el hemisferio sur.

En la zona del Pacífico los huracanes tienden a formarse paralelos al Ecuador y se desarrollan conforme se aumenta en latitud, tomando la trayectoria parabólica característica.

Los huracanes que pueden tener influencia en el país son los que se originan en el Atlántico Sub-Tropical, el Mar Caribe y el Océano Pacífico Centroamericano, aunque esta incidencia es indirecta.

Los ciclones del Atlántico producen lluvias fuertes y continuas por uno o dos días en El Salvador, siempre y cuando se desplacen de Este-Oeste muy cerca de la costa hondureña.

Los huracanes que se forman en el Mar Caribe pueden producir en el país los mismos efectos que los del Atlántico si se mueven en la misma dirección.

Los huracanes del Océano Pacífico afectan al país de una manera similar a los del Atlántico toda vez que su trayectoria esté dentro de unos 250 kms. de distancia a nuestras costas; aunque éstos poseen poca influencia en el país debido a que a una distancia de 200 a 300 kms. de la costa existe una zona ciclogénica por cuando recorren las costas salvadoreñas recién se originan.

## 2.6 Análisis de la Lluvia en cuanto a Intensidad, Duración y Período de Retorno

Los métodos aplicables a la generación de Avenidas Máximas - en pequeñas cuencas en el país, se basan en el comportamiento de la lluvia en cuanto a las intensidades máximas producidas.

Cuando se efectúa un estudio hidrológico en una cuenca específica, es necesario seleccionar una estación pluviográfica

que sea representativa del área en estudio; generalmente esta actividad se vuelve un tanto complicada dado que son muchos los factores que hay que combinar para establecer cual es la estación óptima; entre estos aspectos, se puede mencionar la posición de la estación respecto de la cuenca y los años de registro que posea.

Como la metodología a generar debe ser de fácil aplicación, se hace necesario desarrollar un procedimiento que venga a sustituir la tarea de seleccionar la estación más representativa para la estimación de las intensidades de diseño; se ha considerado que esta actividad, puede ser sustituida por mapas de isolíneas de intensidades máximas, las cuales son líneas de igual intensidad para una duración y período de retorno establecido.

En el país existen 68 estaciones pluviográficas, cuya ubicación se muestra en la fig. 2.4 y su período de registro varía de 4 a 33 años, siendo este factor un parámetro muy importante a la confiabilidad de los datos obtenidos a partir de ellos en la figura 2.5 se presenta un diagrama de barras mostrando la longitud del registro de cada estación, con la finalidad de poder comparar la confiabilidad de una estación respecto a la otra en función de su cantidad de datos.

Las intensidades máximas de cada estación proporcionadas por

el Servicio Meteorológico del Ministerio de Agricultura y Ganadería han sido analizados por medio del método probabilístico de Gumbel, obteniéndose de éste las curvas intensidad-Duración y Frecuencia para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, las cuales serán empleadas en la generación de los mapas de isolíneas de intensidades máximas.

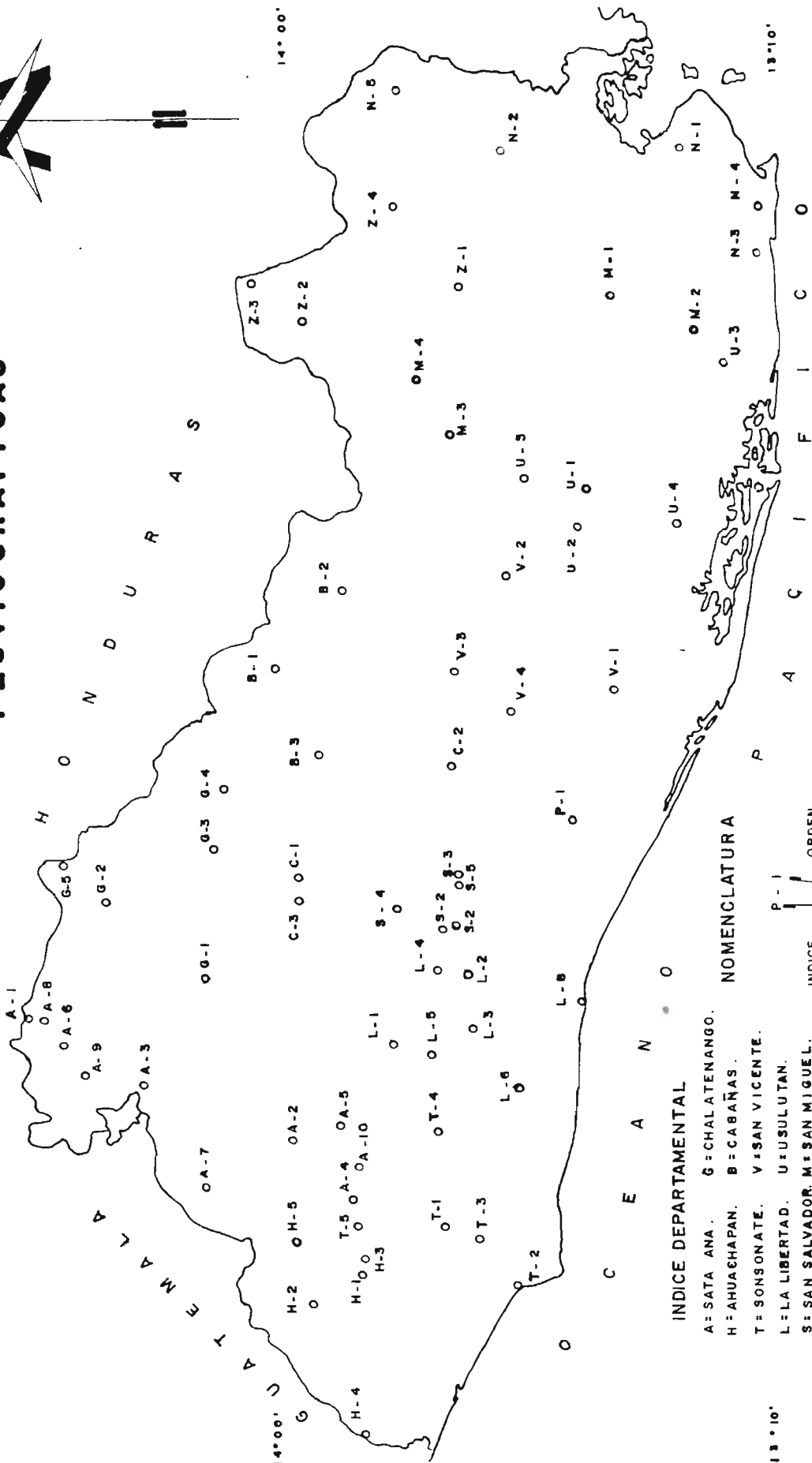
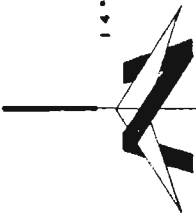
Como puede observarse, en algunas regiones del país (por ejemplo en el departamento de La Paz), no se encuentran cubiertas a satisfacción por la red pluviográfica nacional y en algunas otras zonas las estaciones poseen registros demasiado cortos como para que la Ley de Gumbel sea aplicable satisfactoriamente.

Los mapas, serán construidos, realizando interpretaciones lineales de una estación a otra, para crear líneas de igual intensidad. Las duraciones a emplear dependerán de los tiempos de concentración obtenidos a partir de la tipificación de las cuencas en el país y se utilizarán los períodos de retorno más usuales.

Para poder formarse una idea de la distribución de las intensidades máximas en El Salvador en la fig. 2.6 se presenta un mapa de isolíneas de intensidades para un período de retorno de 25 años y una duración de 45 minutos.

# EL SALVADOR RED DE ESTACIONES PLUIOGRAFICAS

15 10 5 0 15  
ESCALA GRAFICA



## INDICE DEPARTAMENTAL

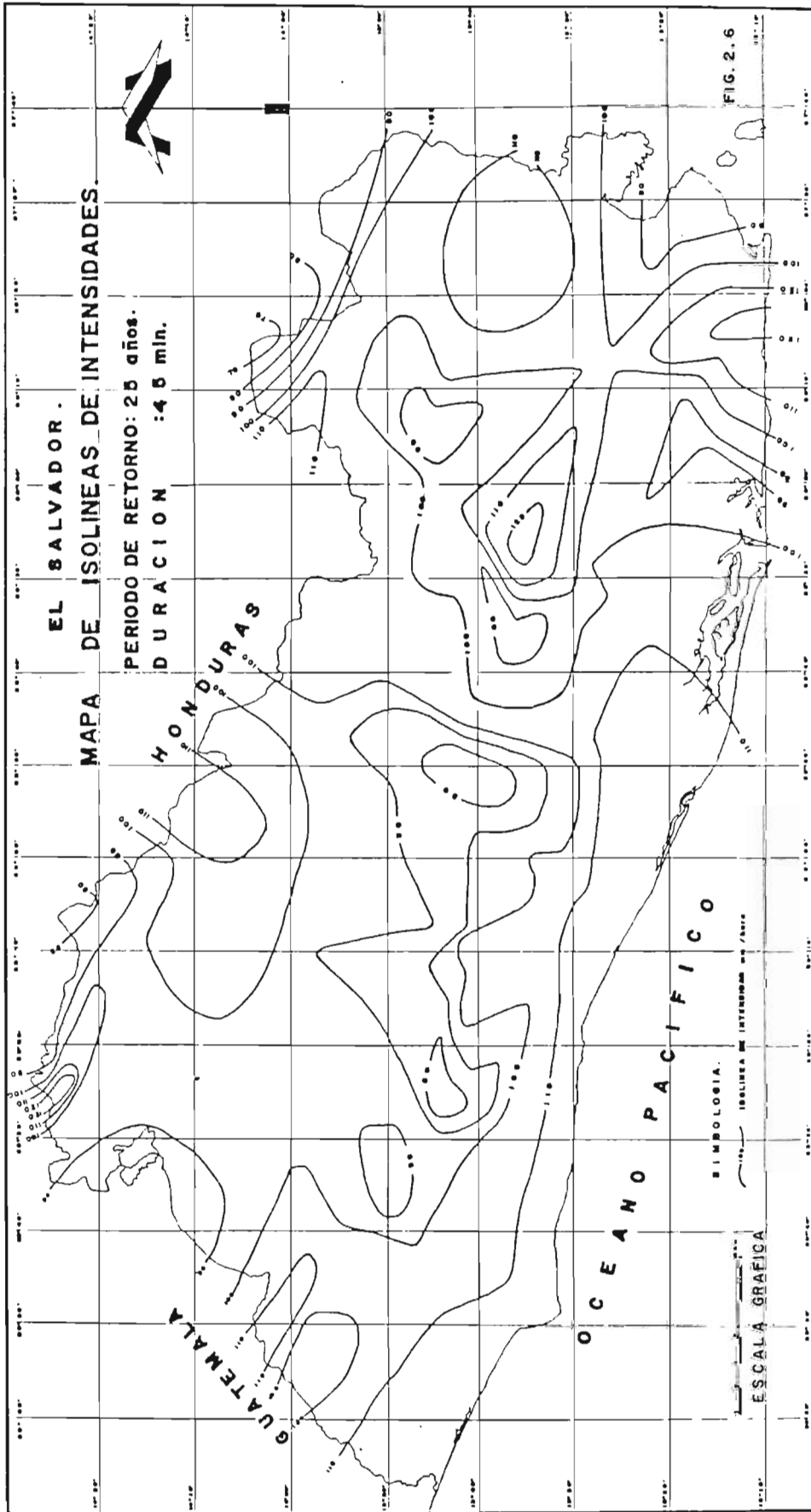
- A = S A T A A N A . G = C H A L A T E N A N G O .
- H = A H U A C H A P A N . B = C A B A Ñ A S .
- T = S O N S O N A T E . V = S A N V I C E N T E .
- L = L A L I B E R T A D . U = U S U L U T A N .
- S = S A N S A L V A D O R . M = S A N M I G U E L .
- C = C U S C A T L A N . Z = M O R A Z A N .
- P = L A P A Z N = L A U N I O N .

## NOMENCLATURA

INDICE DEPARTAMENTAL  
CORRELATIVO  
ORDEN

FIG. 2.4





CAPITULO III

DESCRIPCION DE LOS METODOS UTILIZADOS  
=====

EN EL ANALISIS DE CRECIDAS  
=====

CAPITULO III  
DESCRIPCION DE LOS METODOS UTILIZADOS  
EN EL ANALISIS DE CRECIDAS

3.1 Generalidades

Se llama avenida o crecida máxima, al paso de caudales extraordinarios por la sección de un río; considerándose como extraordinario debido a su gran magnitud, así como por los efectos que ésta es capaz de producir.

Dado los efectos negativos que el fenómeno puede suscitar, resulta obvio que se desee controlar, lo que demanda soluciones técnicas satisfactorias que conlleven un costo determinado. Para lograr una solución que compagine las exigencias técnicas con las económicas, es fundamental la utilización de métodos adecuados y prácticos, lo que ha obligado a los hidrólogos a generar una serie de procedimientos que logren satisfacer los propósitos anteriores.

En este capítulo, se exponen los principales métodos empleados en la estimación de crecidas máximas; con la convicción que ninguno de ellos es enteramente satisfactorio, pero cada uno permite utilizar racionalmente los datos disponibles.

Además, se presenta un análisis de los factores más importantes en la formación del fenómeno, sus características y fuentes generadoras.

### 3.2 Origen de las Avenidas Máximas

Como ya se mencionó antes, las crecidas máximas pueden ser provocadas por la precipitación pluvial, por fusión de nieve y por almacenamiento y fusión de hielo.

En El Salvador los grandes eventos hidrológicos son producidos únicamente por la lluvia; presentándose como casos críticos los temporales, que poseen una intensidad de precipitación de débil a moderada. Bajo esta situación los caudales máximos se dan como respuesta a los chubascos que ocurren durante el temporal cuyo efecto es más notorio dado el grado de saturación que posee el suelo, lo cual disminuye su capacidad de infiltración y provoca escurrimientos mayores.

En el Cuadro 3.1 se muestran fechas y efectos de una serie de eventos extraordinarios que demuestra el poder devastador que el fenómeno en análisis posee y deja en evidencia la necesidad de cuantificar en mejor manera estos eventos hidrológicos.

Un caso más reciente, ha ocurrido en los días del 24 al 31 de agosto de 1988, el cual ha provocado inundaciones en la cuenca baja del Río Lempa y Río Grande de San Miguel, además ocasionó serios problemas en la Autopista San Salvador-Aeropuerto Internacional El Salvador, en donde el río Comalapa sobrepasó los niveles estimados. Al igual que otros ríos de la zona; en algunas de las obras afectadas, la capacidad hidráulica de éstas -

EVENTOS EXTRAORDINARIOS						
FECHA	E V E N T O S	C A U D A L E S .		P R E C I P I T A C I O N		C U E N C A
		ESTACION	Q(m <sup>3</sup> /s)	ESTACION	P(mm)	
04-09-69	TEMPORAL POR HURACAN FRANCELIA(2 AL 9 DE SEPT.)	O S I C A L A . (RIO TOROLA)	2409.00	PERQUIN.	113.80	LEMPA - TOROLA.
22-09-69	TEMPORAL VAGUADA . (22 AL 24 DE SEPTIEMB.)	DESEMBOCADURA (RIO SUCIO .)	245.00	NUEVA CONCEPCION.	55.00	LEMPA - JAYUCA.
07-09-71	HURACAN KARLA .	LOS AMATES. RIO JIBOA	133.00	SAN RAFAEL CEDROS	152.40	J I B O A .
08-09-71	HURACAN KARLA .	DESEMBOCADURA (RIO SUCIO )	410.80	NUEVA CONCEPCION.	120.80	LEMPA - SUCIO - ACELH.
08-09-71	HURACAN KARLA .	SAN ANDRES (RIO SUCIO)	350.00	SAN ANDRES .	175.60	LEMPA - SUCIO .
22-09-71	TEMPESTAD OLIVIA .	SAN ANDRES (RIO SUCIO)	107.00	SANTA TECLA .	60.50	L E M P A .
12-10-73		SINGUIL (RIO GUAJOYO)	240.00	CANDELARIA DE LA F.	86.80	LEMPA - GUAJOYO .
28-08-73	SITUACION ATEMPORALADA .	SAN ANDRES (RIO SUCIO)	144.00	J A Y A Q U E .	92.30	LEMPA - SUCIO .
20-09-74	HURACAN FIFI .	LAS PAVAS (R. SUQUIAPA)	410.00	SANTA TECLA .	186.40	LEMPA - ACELHUATE .
20-09-74	HURACAN FIFI .	SAN ANDRES (RIO AGUA CALIENTE)	25.80	SAN ANDRES .	123.50	LEMPA - SUCIO .
20-09-74	HURACAN FIFI .	E L S I L E N C I O (RIO LEMPA)	4345.00	CERRON GRANDE .	116.60	LEMPA - QUEZALAPA .
20-09-74	HURACAN FIFI .	ARENALES (R. TOMAYATE)	201.00	SAN SALVADOR .	115.00	LEMPA - ACELHUATE .
20-09-74	HURACAN FIFI .	O S I C A L A . (RIO TOROLA ) .	2914.00	P E R Q U I N .	95.60	LEMPA - TOROLA .
20-09-74	HURACAN FIFI .	M E T A P A N . (RIO SAN JOSE)	22.40	Hdo. MONTECRISTO .	120.20	L E M P A .

FUENTE : SERVICIO HIDROLOGICO NACIONAL .



se vio disminuida por la obstrucción de árboles y otros materiales que se almacenaron en las secciones de paso.

Como una evidencia del fenómeno en mención, se exponen en el cuadro 3.2 las precipitaciones registradas en estaciones representativas del país, con el propósito de revisar y comparar con otros fenómenos que han tenido efectos similares.

### 3.3 Características del Fenómeno en Análisis

El comportamiento del caudal de un cauce en un punto de interés, ante el estímulo de la precipitación, está plasmado en el hidrograma de caudales; el cual es un gráfico que muestra el incremento y decremento del caudal en función del tiempo; el hidrograma consta de una curva de concentración y una curva de decremento, conociéndose como punta del hidrograma al punto de convergencia de ambas curvas (Ver fig. 3.1).

Para el estudio de caudales de crecidas, se supone que antes de iniciarse la tormenta, el caudal que transporta el río (caudal base) proviene del agua subterránea, producto de la descarga del flujo base por medio del decrecimiento de la napa freática.

Después de que el agua precipitada, comienza a correr sobre el terreno, se inicia la elevación de los caudales describiéndose

## CUADRO 3.2

DATOS DIARIOS DE LLUVIA. TEMPORAL DEL 24 AL 31 DE AGOSTO/88 (mm).											
ESTACION \ DIA	24	25	26	27	28	29	30	31			
META PAN .	3.8	3.8	50.8	7.6	.	71.1	.	24.1			
SONSONATE .	60.2	10.4	18.2	.	18.5	21.2	3.2	0.0			
ACAJUTLA .	97.3	2.7	4.0	15.9	20.6	24.5	25.9	16.6			
SANTA TECLA .	43.5	15.2	12.8	28.8	33.8	23.9	12.2	.			
ZACATECOLUCA .	72.4	82.5	16.5	106.7	.	65.8	.	.			
NUEVA CONCEPCION .	17.8	1.3	13.3	92.0	13.2	2.0	.	.			
SANTA CRUZ PORRILLO .	25.1	24.9	32.7	122.4	112.7	12.1	4.0	.			
SAN MARCOS LEMPA .	16.5	50.8	31.8	132.1	104.1	5.1	.	.			
SAN MIGUEL FENADESAL .	4.3	28.1	63.8	110.6	120.0	53.1	.	.			
BENEFICIO EL PAPALON .	4.2	18.1	60.1	84.0	134.4	34.0	.	.			

FUENTE : SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL .

así la rama ascendente o curva de concentración de caudales, la cual culmina con la punta del hidrograma que es la zona de máximos caudales.

Como puede observarse en la fig. 3.1 el tiempo transcurrido - desde que comienza la escorrentía superficial, hasta que todas las precipitaciones efectivas sobre la cuenca contribuyen a incrementar el caudal en la sección de desague, se le llama tiempo de concentración; y el tiempo que separa el centro de gravedad de las precipitaciones efectivas de una tormenta, al centro de gravedad de los caudales de crecidas de aguas procedentes - del escurrimiento superficial, se denomina desfase.

Al terminar la lluvia, comienzan a ser alimentados los cauda - les con escorrentías procedentes de las zonas más alejadas de la cuenca; después de transcurrido el tiempo de concentración, el agua acumulada en la superficie del terreno, en los cauces y en las capas freáticas, mantendrán los caudales quedando al final únicamente las aguas subterráneas.

El hidrograma del paso de una crecida por un torrente normal - mente seco, está representado por una curva en forma más o me - nos acampanada, que arranca de un tiempo  $t_1$  cuando los cauda - les comienzan a circular y ascienden hasta un máximo, luego de un período desciende nuevamente, hasta que en el tiempo  $t_2$  - vuelve a ser cero el caudal. En este caso concreto de ríos efímeros el agua subterránea no tiene ningún efecto puesto que la

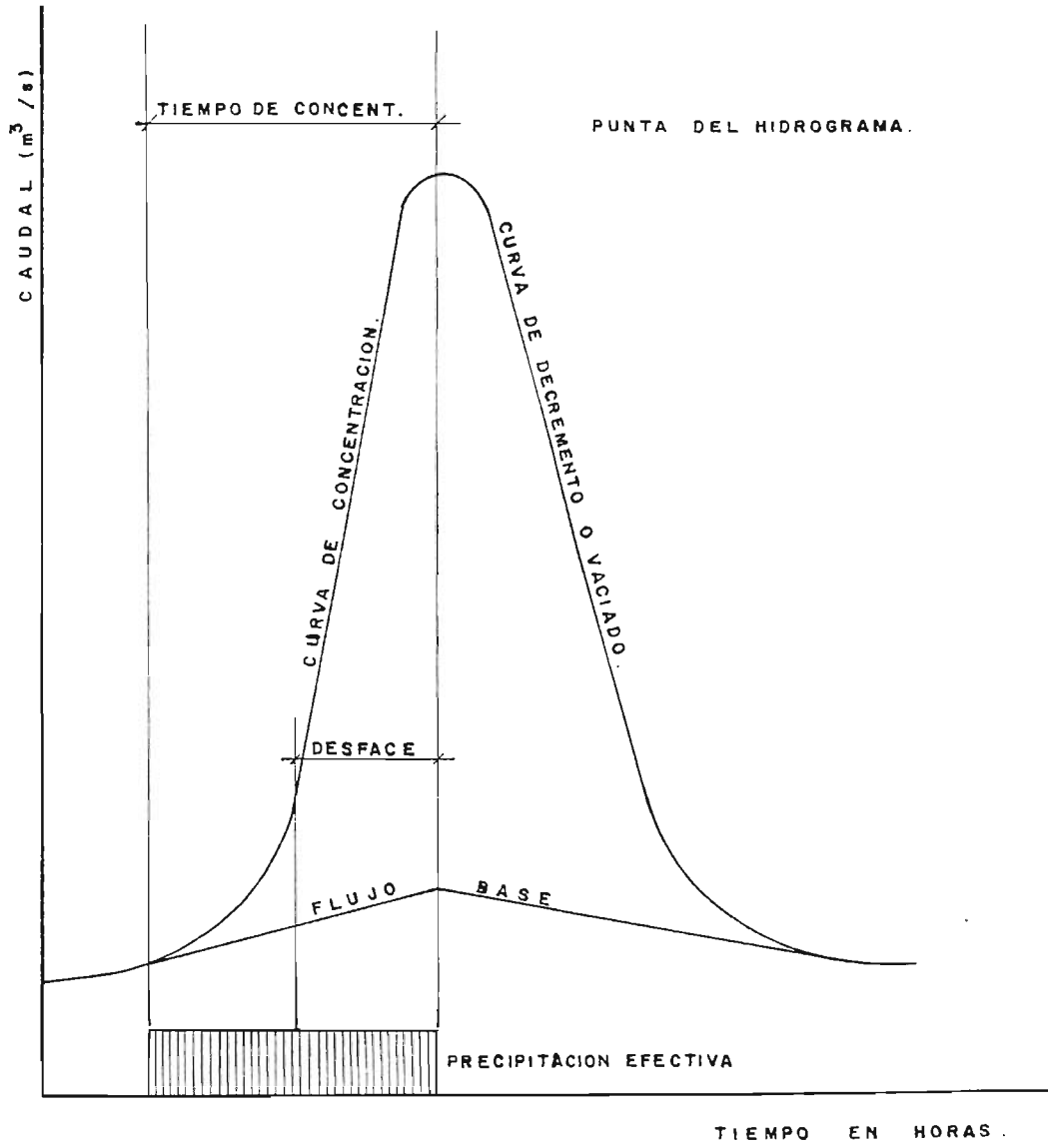


FIG. 3.1 ELEMENTOS DEL HIDROGRAMA.

napa freática se encuentra a mayor profundidad que el fondo de la quebrada o cauce.

### 3.4 Conformación del Hidrograma de Caudales

La conformación del hidrograma de caudales, está delimitado en función de la forma que posea la cuenca.

Las cuencas, presentan una infinidad de formas, pero en términos generales, puede decirse que existen cuencas alargadas, cuencas en forma de sector circular y cuencas de forma irregular.

Para efectos de la determinación de la forma de los hidrogramas de escorrentía pura, es necesario idealizar algunos aspectos que influyen en el comportamiento de la avenida, entre ellos puede mencionarse la ausencia de almacenamiento de agua en la cuenca, el comportamiento constante de la intensidad de precipitación, impermeabilidad, etc. Tomando en consideración las idealizaciones anteriores se analizará la forma del hidrograma en función de la forma de la cuenca.

#### 3.4.1 Cuencas de Forma Alargada

Es la cuenca más elemental y sencilla que puede imaginarse ; supongamos que está formada por un canal de ancho unitario y

de longitud ilimitada, con pendiente constante; en donde la velocidad del agua sobre el canal no depende del caudal, ya que los incrementos en el tirante del agua son despreciables. Si sobre esta cuenca, caen infinitos chorros de agua, uno por cada metro de longitud con una intensidad constante, como se muestra en la figura 3.2, el caudal en el sitio de análisis se irá incrementando con motivo de las nuevas aportaciones - que van llegando de aguas arriba, siendo este incremento - constante.

Bajo esta situación, el hidrograma se comportará en forma lineal (fig. 3.3) y crecerá hasta el infinito ya que siempre - llegarán a la descarga chorros cada vez más lejanos.

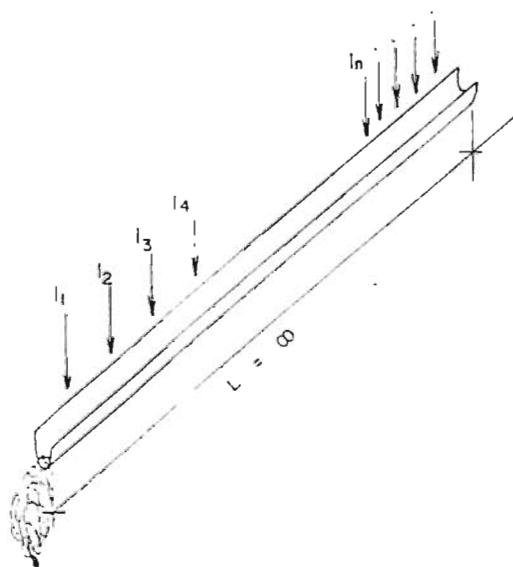


FIG. 3.2 CANAL ILIMITADO

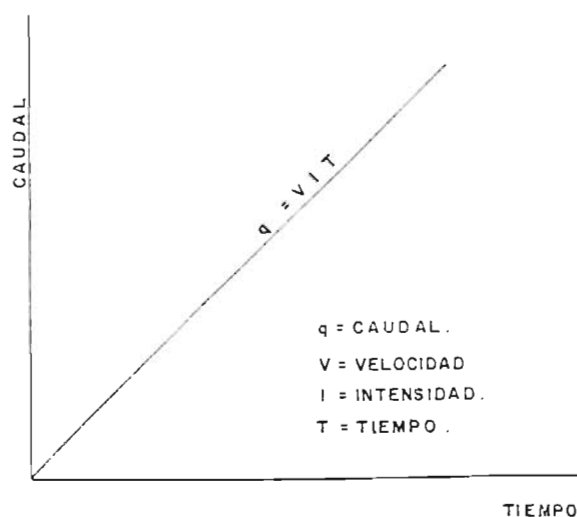


FIG. 3.3 HIDROGRAMA DEL CANAL ILIMITADO.

Para acercarse un poco más a una situación real, considérese que la longitud del canal es finita; después de un tiempo - igual al tiempo de concentración  $t = l/V$  (donde  $l$  = longitud del canal y  $V$  representa la velocidad desarrollada), el incremento del caudal cesa, puesto que ha llegado a la descarga el último caudal y ya no habrá incremento, este comportamiento, se muestra en la fig. 3.4 donde fácilmente puede observarse que a partir del tiempo de concentración, el caudal se vuelve constante, dado que dejan de llegar nuevas aportaciones de chorros alejados y se establece un régimen permanente.

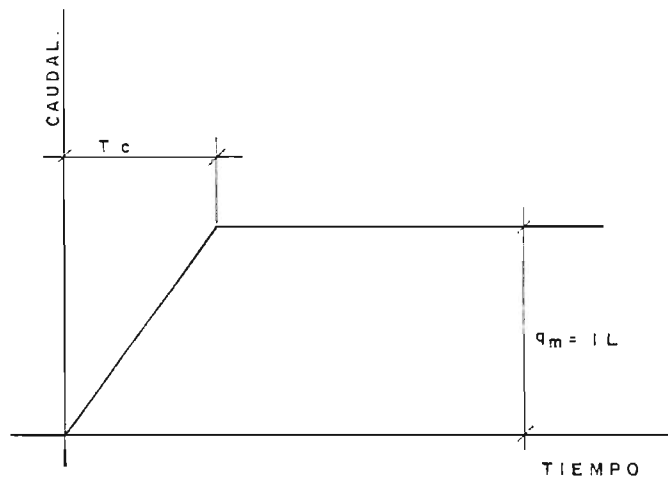


FIG 3.4 HIDROGRAMA PARA UN CANAL DE LONGITUD LIMITADA .

Analizando otro caso más real, considérese la longitud del canal finita y que las lluvias poseen una duración determinada. Si después de transcurrido un tiempo, la lluvia cesa, pueden darse dos situaciones en términos de la duración de la tormenta, la cual puede ser mayor o menor que el tiempo de concentración.

En el caso que la duración sea mayor que el tiempo de concentración, el hidrograma de caudales adopta la forma expuesta en la fig. 3.5, en donde puede notarse que el caudal crece en forma lineal a medida que transcurre el tiempo, alcanzando su valor máximo en un tiempo igual al tiempo de concentración, luego el caudal es constante hasta concluir la lluvia; posteriormente, como no existen aportes de agua, el caudal comienza a descender y termina en un tiempo igual al tiempo de concentración. Este descenso ocurre con la misma velocidad con la que se ha dado el ascenso de los caudales después de iniciada la lluvia.

Cuando la duración de la tormenta, es menor que el tiempo de concentración, la forma del hidrograma es similar a la del caso anterior, pero en estas condiciones, el caudal máximo, está delimitado por la duración de la tormenta como puede verse en la figura 3.6.

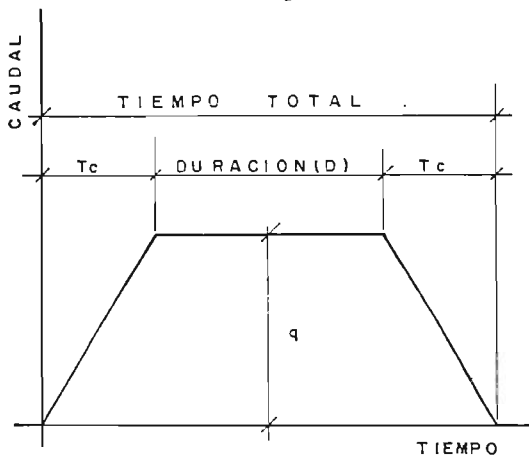


FIG. 3.5 FORMA DEL HIDROGRAMA  
PARA  $D > T_c$

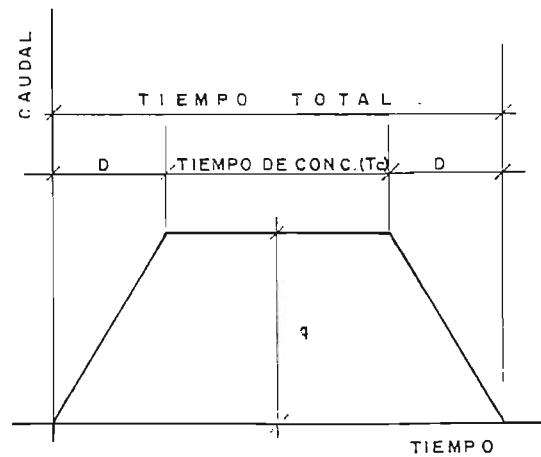


FIG. 3.6 FORMA DEL HIDROGRAMA  
PARA  $D < T_c$

Ahora si se analizan, un conjunto de hidrogramas correspondientes a varias tormentas, las cuales han ocurrido con igual intensidad pero diferente duración; se tendrá una familia de hidrogramas como la mostrada en la fig. 3.7 en donde el triángulo OAB, conforma el hidrograma correspondiente al caso en que la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración.

Los trapecios más bajos, corresponden a duraciones menores que el tiempo de concentración y a medida que la duración crece, se pasa por los trapecios intermedios, hasta llegar al triángulo OAB. Si la duración sigue aumentando el caudal máximo permanece constante hasta la finalización de la lluvia.

Esto demuestra que la avenida máxima, se presentará cuando el tiempo de concentración sea igual a la duración de la tormenta, suponiendo que la intensidad de la precipitación es constante en toda la cuenca.

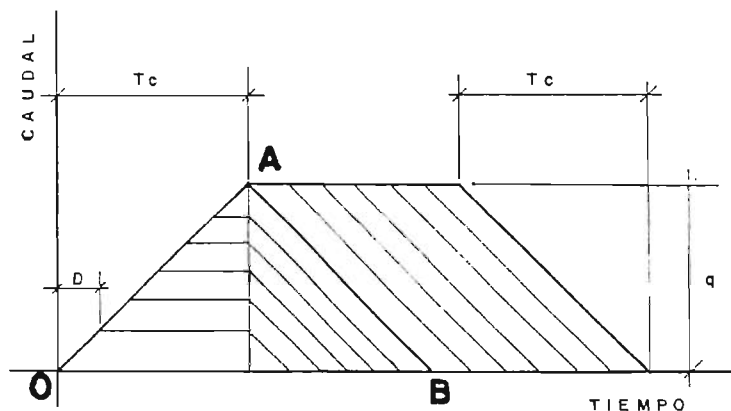


FIG. 3.7 SUPERPOSICION DE HIDROGRAMAS DE VARIAS TORMENTAS

### 3.4.2 Cuencas en Forma de Sector Circular

Este tipo de cuenca es más usual, su comportamiento es muy diferente al de una cuenca alargada. Ahora el primer caudal tiene una magnitud  $q$ , pero las de las zonas interiores crecen proporcionalmente al radio (distancia a la descarga), por lo tanto, el caudal tiene un crecimiento rápido (Ver fig.3.8).

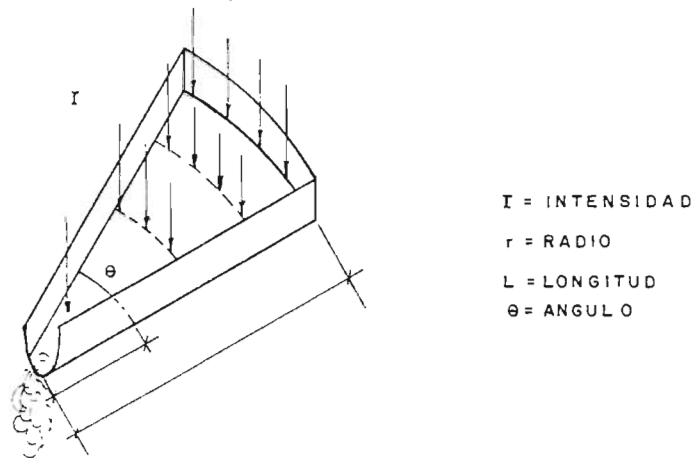


FIG. 3.8 CUENCA EN FORMA DE SECTOR CIRCULAR.

Cuando la duración es mayor que el tiempo de concentración, el ascenso del hidrograma es más rápido y el descenso es retardado, conservándose la meseta en el intervalo de  $t_c$  a  $D$ , esta situación, se presenta con mayor claridad en la fig .

3.9.

En el caso de que la duración es menor que el tiempo de concentración, no existe un máximo continuo, pues las aguas que dejan de llegar, no se compensan con las que llegan de aguas arriba, sino que aumentan por ellas, al ser la cuenca más ancha en la zona alta; el caudal sigue creciendo después de  $f_i$

nalizada la tormenta, hasta que comienza a sentirse la falta de agua que deja de caer en la cabecera, siempre transcurrirá el tiempo de concentración, desde que cese la lluvia hasta que pasen por el punto del cauce en estudio las últimas aguas caídas en la zona más alejada (Ver fig. 3.10).

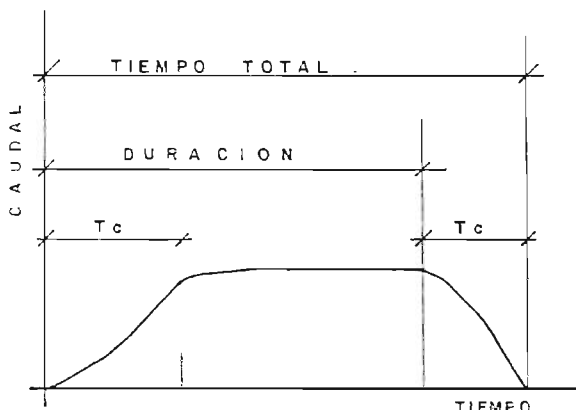


FIG. 3.9  $D > T_c$

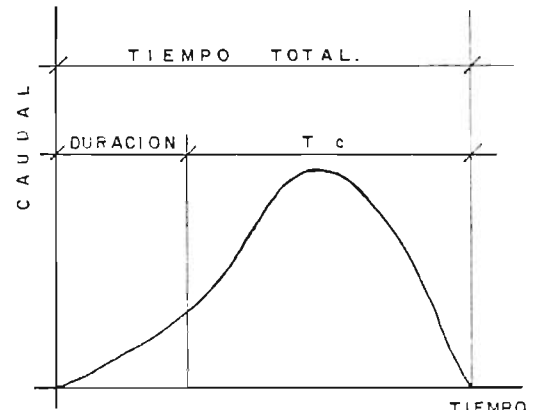


FIG. 3.10  $D < T_c$

Los hidrogramas, correspondientes a una serie de tormentas de igual intensidad pero de diferente duración, presentan el comportamiento que se expone en la fig. 3.11 en la cual, también el caudal máximo se da cuando la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración.

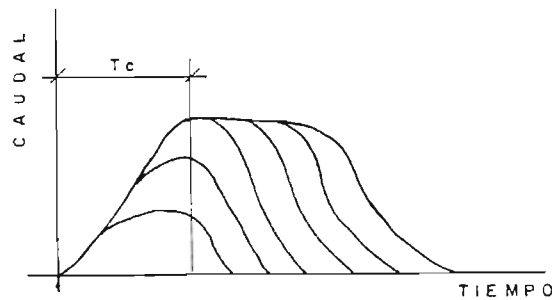


FIG. 3.11 SUPERPOSICION DE HIDROGRAMAS DE VARIAS TORMENTAS, PARA CUENCAS EN FORMA DE SECTOR CIRCULAR

### 3.4.3 Cuencas de Forma Irregular

En estas cuencas, los hidrogramas poseen cierta similitud con los anteriormente expuestos, alcanzando su valor máximo cuando la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración, ya que las cuencas se van ensanchando hacia la cabecera, lo cual produce mayores aportaciones de las zonas altas.

Todos los casos anteriormente expuestos, corresponden a situaciones ideales, aunque se aproximan mucho a la forma de las cuencas reales.

Los hidrogramas reales, están influidos por la presencia de otros factores importantes como lo son la infiltración (hipodérmica y profunda), la evaporación, la evapotranspiración y el caudal base. En la figura 3.12 se presenta una descomposición del fenómeno en estudio.

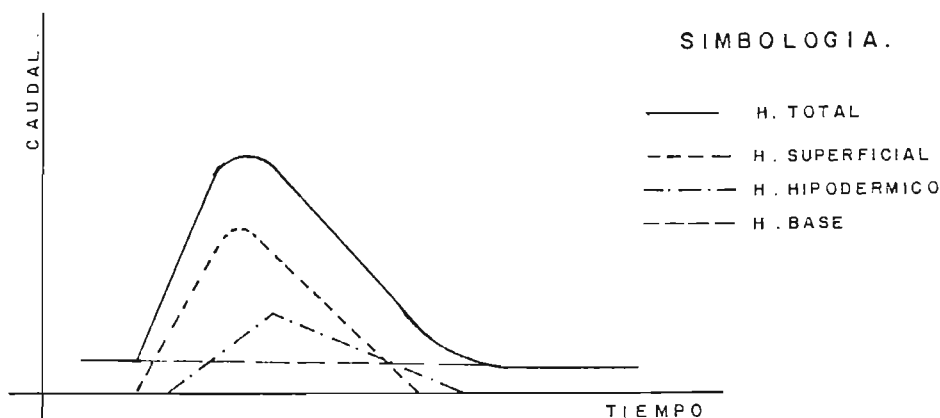


FIG 3 12 DESCOMPOSICION DEL HIDROGRAMA

### 3.5 Análisis de los Factores Involucrados en la Formación de Avenidas

Son muchos los factores involucrados en la formación y evolución de las avenidas máximas; se considera que la coincidencia de éstos caracteriza el grado de riesgo generado por el evento hidrológico. Algunos de estos factores, se presentan antes de iniciarse la tormenta generando condiciones desfavorables antes de iniciarse el escurrimiento superficial, contribuyendo así al incremento del riesgo; a estos factores se sumarán otros que aparecen al inicio del evento o se presentan en el transcurso del mismo.

Entre los factores de mayor relevancia, por su grado de participación en la generación de eventos extraordinarios pueden citarse los siguientes:

- i) Factores climáticos
- ii) Factores geomorfológicos de la cuenca
- iii) Obras artificiales
- iv) Factores extrahidrológicos.

En este acápite, se realizará una exposición en términos generales de la influencia de estos aspectos, en la formación de crecidas, con el objeto de conocer más a fondo, todas las variables involucradas y poder así tomarlas en consideración a la hora de desarrollar la cuantificación del caudal produ-

cido, obteniéndose de esta manera un grado de confiabilidad cada vez mayor.

### 3.5.1 Factores Climáticos

#### 3.5.1.1 Precipitación.

En El Salvador, es la única fuente generadora de crecidas, su influencia está condicionada por varios aspectos.

Interviene naturalmente, la localización de la cuenca, inflyendo la región climatológica, la orografía de la región y el tipo de lluvia que se presente, así como la extensión de la cuenca y el período de retorno de la tormenta.

La duración de la tormenta condiciona notablemente la intensidad de las precipitaciones; siendo las lluvias más desfavorables las de corta duración y gran intensidad, las cuales producen crecidas pronunciadas en cuencas pequeñas, que es el caso que nos interesa en este trabajo.

La extensión de la cuenca, determina la altura de precipitación media que recibe, además la intensidad no es uniforme en toda la cuenca, y se reduce a medida que el área aumenta.

#### 3.5.1.2 Otros Factores.

Además de lo relacionado con la cantidad e intensidad de precipitación, existen otros aspectos que están relacionados

con la precipitación y de una u otra forma, contribuyen al establecimiento del régimen de escurrimiento ; entre ellos pueden citarse los siguientes:

i) La intercepción.

Antes de alcanzar el suelo, parte de la lluvia es interceptada por las hojas de los árboles y por los cultivos, parte de esta agua, corre hacia el suelo por los troncos de los árboles y los tallos de las plantas, pero otra parte queda mojando las hojas, troncos y tallos y se evapora al transcurrir el tiempo.

Es difícil de evaluar la cantidad de agua interceptada por la vegetación en el transcurso de una tormenta, ya que depende de las superficies de las hojas y su rugosidad que determinan su retención inicial, y de la duración de la lluvia y los factores meteorológicos que favorecen la evaporación.

ii) La infiltración.

Generalmente, la capa superficial del suelo es más permeable que los terrenos profundos debido a la vegetación y labores agrícolas; pero existen casos en los que la superficie del terreno puede resultar menos permeable que las capas profundas, debido a su compactación superficial.

La infiltración, depende de la permeabilidad del terreno, principalmente de sus capas superficiales.

En terrenos impermeables, rocas compactas y sin vegetación (pizarras y granitos), o en suelos arcillosos, el agua correrá sobre la superficie al poco tiempo de iniciada la lluvia y la infiltración es muy pequeña. En terrenos muy permeables, gravas o calizas arenosas, casi toda el agua precipitada penetra en el terreno, incorporándose a los caudales subterráneos, no produciendo reducción sensible en las crecidas.

En zonas con porosidad y permeabilidad media (arenas, limos, terrenos cultivados), la infiltración puede ser grande, pero la velocidad de circulación es moderada, no siendo probable que los cauces se incrementen con agua de las capas freáticas, mientras la infiltración reducirá notablemente las escorrentías superficiales.

En bosques y terrenos cultivados, generalmente la infiltración es superior a la que se produce en terrenos sin vegetación, puesto que es mayor la retención, y por lo tanto la posibilidad de infiltración.

iii) Condiciones Climatológicas Anteriores al inicio de la lluvia.

En el transcurso de una tormenta, decrece la capacidad de infiltración. Si con anterioridad a una lluvia, se

han producido otras (temporales), el terreno está húmedo y lleno de agua gran parte de sus intersticios, por lo que la infiltración desde el comienzo de la lluvia - será moderada, transformándose así gran parte de la pre cipitación en escorrentía, por lo que el suelo habrá al canzado niveles de saturación considerables y será inca paz de absorber la lluvia.

### 3.5.2 Geomorfología de la Cuenca

Para que los cauces puedan conducir los caudales que se producen en un evento meteorológico, deben elevar sus aguas, por lo que parte de los volúmenes de agua que entran en un tramo de río, se emplean en llenar los cauces de crecidas, de tal manera que mientras dura la tormenta, la suma de caudales en trantes es superior al caudal fluyente en la zona de desague. El llenado de cauces produce un retraso en las avenidas y si el evento meteorológico no es muy prolongado, proporciona - una disminución de los caudales en la descarga.

La magnitud de las crecidas depende en gran medida de las ca racterísticas morfológicas de la cuenca, dado que son ellas quienes condicionan el tránsito de las avenidas.

Dentro de las características generales de una cuenca, que - poseen mayor influencia pueden citarse:

- i) El área de recogimiento

- ii) La forma
- iii) Forma y densidad de la red fluvial
- iv) El relieve
- v) Características geológicas y cobertura del suelo.

#### 3.5.2.1 El Area de Recogimiento

Constituye la variable más importante en la generación de caudales máximos; puede tomarse como regla general, que los caudales producidos para una misma intensidad, crecen menos que proporcionalmente con el área de la cuenca.

En cuencas de muy pequeña extensión, los caudales máximos, serán casi proporcionales al área de la cuenca, pues será suficiente una tormenta de corta duración, para que después de saturada los escurrimientos alcancen la sección de desague ; por otra parte, es poco probable que existan grandes variaciones en la intensidad de lluvia en toda la cuenca.

En algunos casos, la extensión de la cuenca alcanza dimensiones muy altas y en ellas es muy poco probable que se produzca un temporal de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca; por otra parte, puede ocurrir que algunas subcuencas estén afectadas por regímenes meteorológicos diferentes, siendo muy poco probable que los temporales más desfavorables se produjeran simultáneamente en toda la cuenca.

### 3.5.2.2 Forma de la Cuenca

A medida que las distancias que el agua tiene que recorrer para llegar a la zona de descarga es mayor, los probables caudales máximos son más reducidos. Es así como en una cuenca alargada con cauces sinuosos, se producirán crecidas más moderadas que en cuencas compactas, con red hidrológica fluvial radial (Ver figs. 3.13a y 3.13b).

Si en una cuenca alargada, la tormenta avanza en sentido contrario al sentido de la corriente, se producirá un retraso en la llegada de las aguas de la cuenca alta a la cuenca baja, ocasionando una reducción en los caudales en la descarga, respecto a los caudales producidos si la tormenta avanza en el mismo sentido de la corriente.

En cuencas alargadas en la zona más alejada al punto de interés, unida por una sección estrecha a una zona con drenaje radial (fig. 3.13c), es posible que sea más desfavorable una lluvia de suficiente duración, la cual permitirá que el agua pueda llegar desde las regiones más alejadas, que una tormenta de corta duración, durante el cual se recogieran en la sección de desague las aportaciones de la zona compacta de la cuenca.

Si en una cuenca existe un tramo intermedio de poca anchura (fig. 3.13d), o la cuenca baja sea estrecha (fig. 3.13e), o que la cuenca alta posea distinto régimen de lluvia, es pro-

bable que las mayores crecidas, se produzcan con duraciones menores al tiempo de concentración y en este caso, el hidrograma tendría dos máximos, en donde el primer máximo correspondería al caudal producido por la cuenca baja y el segundo a la cuenca alta (fig. 3.13f).

### 3.5.2.3 Forma y Orientación de la Red Fluvial

Las velocidades con que el agua circula por las laderas y cauces, crece con el espesor de la lámina, por lo que dependiendo de la rapidez con que las aguas se reúnan formando corrientes encauzadas, menor será la retención superficial del terreno, compensada por las mayores cantidades de agua acumulada en los cauces menores necesarios para el drenaje de la cuenca.

En cuencas con una red fluvial abundante (fig. 3.14a) las crecidas serán más rápidas y de gran magnitud que en cuencas cuya red fluvial sea poco densa (fig. 3.14b), permitiendo canalizar grandes cantidades de agua.

Como las velocidades crecen en función de las pendientes y tirantes, los amplios cauces de los ríos de llanuras, contribuirán más a amortiguar la velocidad que los caudales de crecidas de los ríos de montaña, los cuales poseen grandes pendientes y red de drenaje poco densa.

# FORMAS DE CUENCAS.

F I G . 3.13



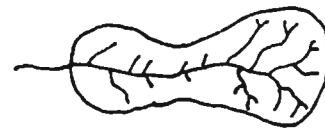
a) CUENCA ALARGADA .



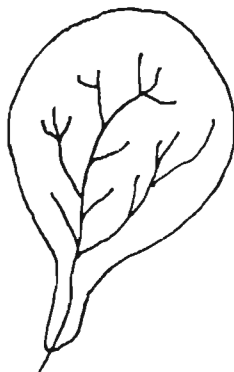
b) CUENCA COMPACTA CON RED FLUVIAL RADIAL.



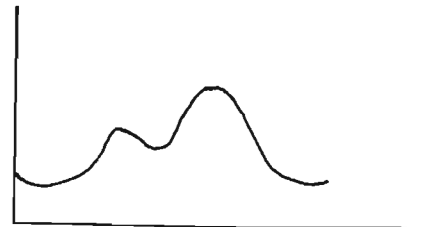
c) CUENCA ALARGADA EN LA ZONA ALTA Y COMPACTA EN LA ZONA BAJA .



d) CUENCA . CON TRAMO INTERMEDIO DE POCA ANCHURA .



e) CUENCA CON ZONA ALTA COMPACTA Y ZONA BAJA ESTRECHA.



f) HIDROGRAMA PARA CUENCAS CON DIFERENTE REGIMEN PLUVIAL.



FIG. 3.14 a CUENCA CON RED FLUVIAL  
ABUNDANTE .



FIG. 3.14 b CUENCA CON RED FLUVIAL  
POCO DENSA .

Las redes fluviales, de cauces reducidos y en las que los afluentes se incorporan lo antes posible a los cursos de aguas principales, son más propicios a la formación de grandes crecidas que los formados por cauces sinuosos o paralelos.

#### 3.5.2.4 Relieve de la Cuenca

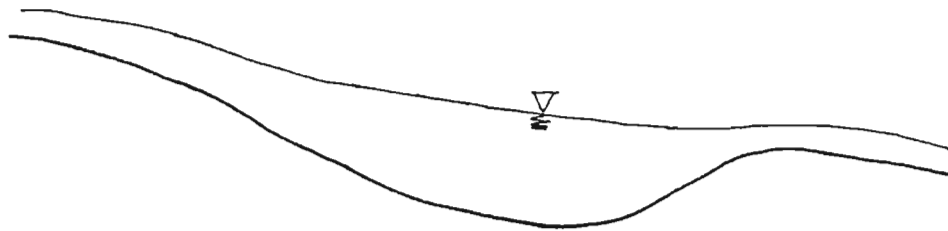
Las velocidades con que transita un caudal máximo, están íntimamente relacionadas con el relieve de la cuenca, ya que éste condiciona las pendientes con las que se tendrá que circular.

Si el terreno o el cauce son escalonados, alternando con remansos y rápidos, el volumen de agua acumulada en los remansos, será muy superior al que se almacenaría en un tramo de pendiente uniforme (rápido) lo cual contribuye a retrasar o amortiguar la crecida (Ver fig. 3.15).

FIGURA 3.15



RELIEVE ESCALONADO .



REMANSO PRODUCIDO POR UN LAGO .

### 3.5.2.5 Características Geológicas y Cobertura del Suelo

Las condiciones geológicas que posea la cuenca, contribuirán a incrementar o reducir el coeficiente de escorrentía, el cual es una relación entre el agua precipitada y el agua escurrida.

Este coeficiente, está condicionado por la capacidad de infiltración del suelo y ésta a la vez depende de la geología y cobertura de la zona.

La influencia del fenómeno de la infiltración, en la generación de avenidas ya ha sido expuesto en el acápite 3.5.1.2.

En muchos casos, la cobertura del suelo, contribuye a impermeabilizarlo, incrementando en gran medida el escurrimiento superficial, esta situación se dá en urbanizaciones, carreteras y en términos generales en las grandes ciudades.

Por otro lado los bosques y campos de cultivo, contribuyen a amortiguar el escurrimiento y mantiene la capacidad de infiltración del suelo.

### 3.5.3 Obras Artificiales

Es de mucha importancia, la influencia de las obras construidas por el hombre en la modificación del tránsito de avenidas; su efecto puede ser positivo o negativo, según sus características. Entre las obras de mayor incidencia, pueden -

citarse: Los cultivos, bosques, puentes, embalses y encauzamientos.

Los bosques, poseen efectos análogos que los cultivos sobre las crecidas; ambos interceptan parte de la lluvia y las raíces de los árboles ahuecan el terreno, facilitando la infiltración. El mantillo que los desechos vegetales forman sobre el suelo de los bosques, retiene también el agua y facilita su infiltración, de tal manera que, en bosques muy espesos es raro que se produzcan escorrentías superficiales.

Los puentes construidos afectando la libre circulación de los cauces, pueden estrangular sensiblemente la corriente y modificar el régimen de tránsito de la avenida, lo que puede ocasionar mayores daños en las zonas aledañas.

Los embalses actúan como un amortiguador de las crecidas, disminuyendo sus velocidades; también pueden actuar como reguladores de caudales si existen aliviaderos controlados por compuertas.

La construcción de diques de encauzamiento, pueden ocasionar inundaciones de efectos más perjudiciales, que las crecidas naturales, en el caso de ocurrir roturas o de rebasarse el nivel de los diques.

#### 3.5.4 Factores Extrahidrológicos

Algunas crecidas han sido ocasionadas por fenómenos naturales extrahidrológicos, que han ocurrido en épocas de grandes precipitaciones. Entre estos factores tenemos:

- i) Deslizamientos de taludes que producen el taponamiento temporal del cauce.
- ii) Formación de barreras por acumulación de troncos y otros materiales.

#### 3.6 Métodos Utilizados en el Cálculo de Crecidas Máximas

Existe una gran cantidad de metodologías encaminadas a la determinación de crecidas máximas, las cuales, han sido desarrolladas en base a observaciones realizadas en varias regiones del mundo.

Puede afirmarse, que ninguno de los métodos se amolda a las condiciones predominantes en cada región, por otro lado, la escogitación del método a emplear, dependerá de los datos disponibles en la zona que se estudie.

Con el objeto de conocer con mayor profundidad, los procedimientos más usuales, utilizados para la cuantificación del escurrimiento máximo probable, en este apartado, se hace una descripción de las hipótesis, restricciones, ventajas y desventajas de aplicación de estos métodos, los cuales, pueden

ser clasificados en términos generales, como se expone en la fig. 3.16.

### 3.6.1 Métodos Directos

Aunque su aplicación no posee una base estadística, proporcionan en muchas ocasiones información muy útil.

Se basan, en el análisis del comportamiento de secciones transversales representativas del cauce en estudio. Presentan la ventaja que los datos necesarios como lo son: Topografía de secciones transversales, pendiente del cauce en el tramo seleccionado, nivel de aguas máximas para eventos pasados, etc. pueden ser obtenidos con relativa facilidad.

#### 3.6.1.1 Aforos Directos

Son muy escasos los datos de aforos directos disponibles de grandes crecidas; esta falta de información, puede ser provocada por varios factores, entre los que se pueden mencionar, el difícil desplazamiento de hidromensores durante la ocurrencia de eventos meteorológicos extraordinarios, el alto grado de riesgo al intentar efectuar un aforo durante una crecida máxima; además, no es posible realizar un control en toda la cuenca.

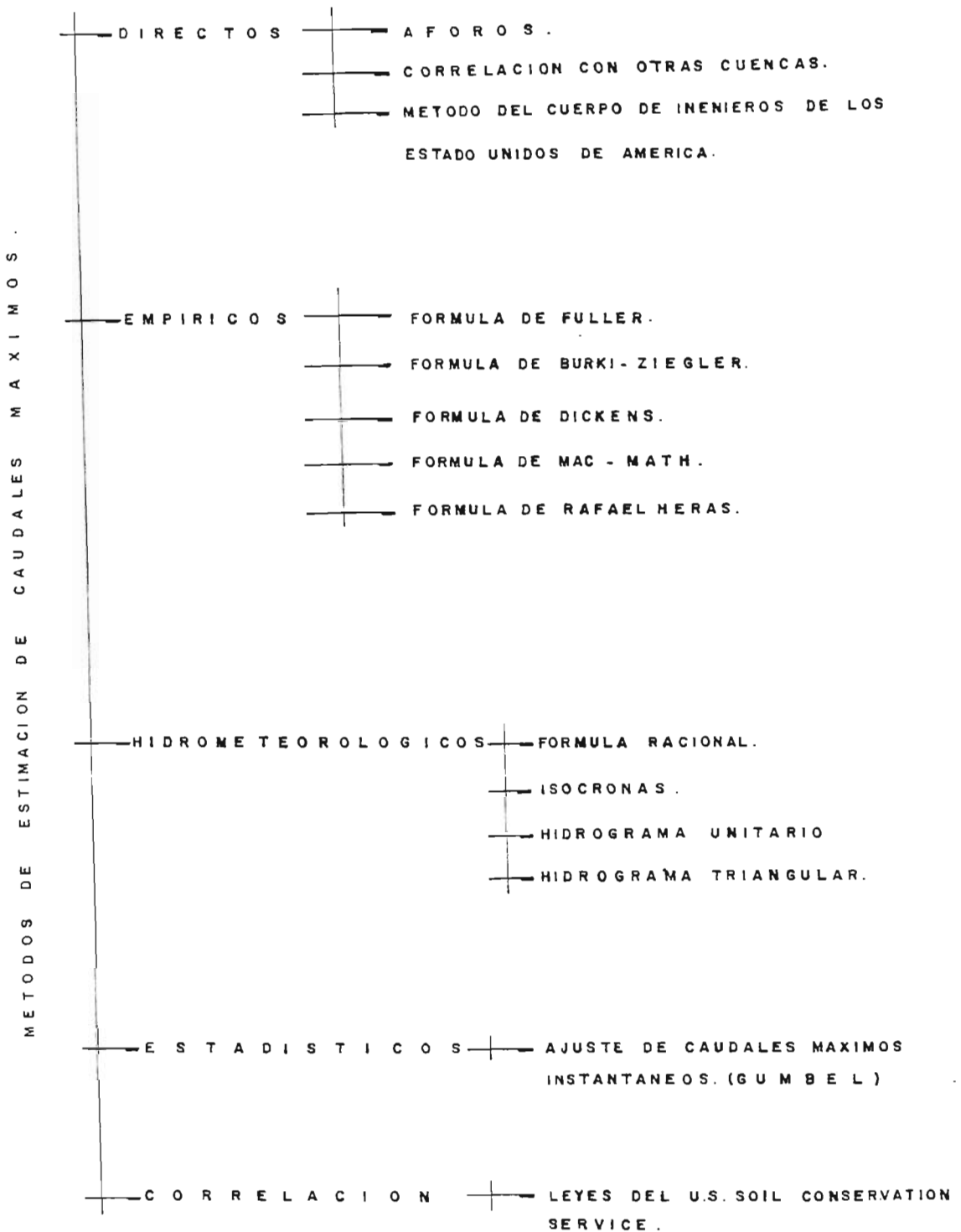


FIG. 3.16 CLASIFICACION DE LOS METODOS EMPLEADOS EN LA CUANTIFICACION DE CAUDALES MAXIMOS .

Bajo el supuesto que se tienen aforos representativos de eventos extremos, conociendo el caudal y las características físicas de la sección seleccionada, puede emplearse cualquier fórmula de canales (generalmente Manning) y establecer así el nivel de aguas máximas alcanzado. Este método debe ser utilizado en aquellos casos en que se cuente con suficientes datos de aforos para la escogitación del más crítico.

#### 3.6.1.2 Correlación con Otras Cuencas

Puede ser empleado, cuando en una cuenca que se desea estudiar, existe escasez de los datos necesarios para la utilización de otros métodos, que posean un mayor grado de precisión y tenga que recurrirse a la correlación con caudales de crecida de alguna cuenca próxima, que posea la información adecuada, apoyándose en la hipótesis que las características de ambas cuencas (meteorológicas y morfológicas), son similares.

Para que la correlación entre los caudales de crecidas de cuencas diferentes sea válida, debe tomarse en consideración la influencia del régimen de precipitaciones, la extensión de la cuenca, su orografía, la forma, la vegetación y demás parámetros involucrados en la generación del fenómeno en análisis. Este método requiere de un conocimiento más amplio sobre estudios hidrológicos por parte del proyectista, para poder esta

blecer la similitud entre cuencas, ya que solo bajo un buen criterio de comparación se obtendrán resultados satisfactorios.

### 3.6.1.3 Método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América

Este método requiere de información de campo del tramo de cauce considerado como representativo para el análisis, esta información es la referente a secciones transversales del cauce, pendientes y nivel de aguas máximas alcanzadas en eventos meteorológicos extremos anteriores.

El nivel de aguas máximas, puede obtenerse mediante la huella dejada por el escurrimiento y o información proporcionada por los residentes en la zona.

Con esta información se está en capacidad de aplicar la fórmula de Manning y establecer el caudal máximo, quedando restringido este cálculo por las hipótesis formuladas por Manning para la generación de su fórmula. El procedimiento consiste en calcular el área hidráulica y el perímetro mojado, para el nivel de aguas máximas registrado; además es necesario establecer la pendiente longitudinal del cauce y el valor de "n", luego con estos datos se aplica la ecuación de Manning y se determina el caudal producido.

### 3.6.2 Métodos Empíricos

En casi todos los países se han propuesto fórmulas empíricas para determinar los caudales máximos de escorrentía a partir de características geométricas y geográficas de las cuencas. Las fórmulas empíricas son correlaciones, basadas en datos reales de caudales tomados en diferentes sitios y diferentes características físicas de las cuencas, por lo que cada fórmula es representativa de las condiciones propias de la zona en donde se ha desarrollado.

Ante la escasez de información en áreas de estudio resulta interesante la aplicación de Fórmulas Empíricas, que permiten estimar los caudales de probables crecidas, sin tener que recurrir a tomar numerosos datos directos o a esperar muchos años antes de concluir el estudio hidrológico sobre una cuenca. Sin embargo debe tomarse muy en cuenta, que la aplicación de ellos pueden darnos valores erróneos debido a la representatividad de la Fórmula Empírica, en una zona distinta a la región para la que fue establecida.

Por estas razones no siempre es admisible determinar los caudales máximos en una cuenca, basándose solamente en Fórmulas Empíricas sin haber reunido el suficiente número de datos que permitan confirmar el orden de magnitud de los caudales máximos, y que la aplicación de la correspondiente fórmula a la cuenca es correcta. Con ello no quiere decirse que no pue

da utilizarse una fórmula empírica, sino más bien que ésto debe hacerse con la reserva del caso, ya que si bien no pueden sustituir totalmente a los datos directos son imprescindible para estudios previos.

Dentro de las fórmulas empíricas más usuales, se encuentran las siguientes:

- i) Fórmula de Fuller
- ii) Fórmula de Burki-Ziegler
- iii) Fórmula de Dickens
- iv) Fórmula de Mac-Math
- v) Fórmula de Rafael Heras.

#### 3.6.2.1 Fórmula de Fuller

La fórmula de Fuller tiene un interés particular al incorporar en ella el factor de período de retorno mediante el cual se está en capacidad de poder definir un período de diseño para la obra en estudio que suele ser uno de los elementos de más fácil definición en un estudio hidrológico, el otro parámetro tomado en cuenta es el área de recogimiento cuya obtención es rápida y fácil en cualquier ámbito.

$$Q = CA^{0.8} (1 + 0.8 \text{ Log.T})$$

De donde:

$$Q = \text{Caudal máximo diario en m}^3/\text{seg.}$$

A : Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

C : Constante = 0.796

T : Período de retorno en años

$$Q_{\max} = Q (1 + 2.658 A^{-0.3})$$

De donde:  $Q_{\max}$  : Caudal Máximo Instantáneo.

### 3.6.2.2 Fórmula de Burki-Ziegler

La fórmula de Burki-Ziegler, indica dos limitantes para su aplicación. La primera, requiere que la cuenca donde se ha de aplicar, posea por lo menos una estación meteorológica; y además que la pendiente media de la cuenca sea suave.

$$Q = 0.022 E A P \sqrt{S/A}$$

Donde: Q : Caudal en m<sup>3</sup>/seg

E : Coeficiente medio de flujo que depende de la impermeabilidad de la cuenca (naturaleza del terreno)

P : Precipitación media durante la lluvia más fuerte en cm/hora.

S : Pendiente media del terreno en m/1000 mts.

A : Area de recogimiento en km<sup>2</sup>.

Cuadro 3.3 VALOR DE "E" SEGUN BURKI-ZIEGLER

CONDICION DE LA ZONA	VALOR DE "E"
Area Densamente Construida	0.70 - 0.75
Zona Residencial Común	0.50 - 0.65
Zona Sub - Urbana	0.30 - 0.45
Campos de Cultivo	0.20 - 0.30
Parques Jardines	0.15 - 0.25

3.6.2.3 Fórmula de Dickens

$$Q = 0.01386 CA^3$$

Donde: Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

A = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

C = Coeficiente que depende de la clase de terreno  
y de la altura total de lluvia en 24 horas.

Cuadro 3.4

CLASE DE TERRENO	VALORES DE "C" EN FUNCION DE LA PRECIPITACION	
	10 cm/24 h.	15 cm/24 h.
Terreno Plano	200	300
Lomerío Suave	250	325
Lomerio Fuerte	300	350

La fórmula de Dickens es aplicable únicamente para áreas entre 2.5 y 250 km<sup>2</sup>.

#### 3.6.2.4 Fórmula de Mac-Math

$$Q = K P (A)^{0.58} (Z)^{0.42}$$

Donde: Q : Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

A : Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

K : Factor morfométrico

P : Precipitación máxima en 24 horas en mm

Z : Pendiente media de la cuenca en milésimas.

Cuadro 3.5

T (años)	K ( $\times 10^{-2}$ )
5	1.1
10	2.2
30	3.3
50	4.3

#### 3.6.2.5 Fórmula de Rafael Heras

$$Q = K I C A$$

Donde: Q : Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

A : Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

C : Coeficiente de escorrentía de Heras

I : Cantidad de lluvia precipitada en un tiempo igual al de concentración en mm/min.

K : Coeficiente característico.

Cuadro 3.6

AREAS (KM <sup>2</sup> )				K	I	C	
	A	<	100	0.20 - 0.40	10 - 50	0.4 - 0.9	
100	≅	A	<	500	0.15 - 0.35	10 - 40	0.4 - 0.9
500	≅	A	<	1000	0.10 - 0.30	10 - 40	0.4 - 0.9
1000	≅	A	<	10000	0.10 - 0.25	10 - 30	0.4 - 0.8
	A	≥	10000	0.10 - 0.20	10 - 20	0.4 - 0.8	

### 3.6.3 Métodos Hidrometeorológicos

Los métodos hidrometeorológicos, tratan de reproducir el fenómeno hidrológico en base a la estimación de los parámetros meteorológicos, hidrológicos y morfológicos necesarios.

Todos estos procedimientos, se basan en la hipótesis que las lluvias más desfavorables, pueden ocurrir en cualquier zona de una región y que las crecidas se propagan con velocidad constante a lo largo de los cauces o que los caudales producidos por la precipitación son función de ellas.

Resulta muy discutible la rigurosidad de los procedimientos de cálculo de los caudales a partir de las precipitaciones, por poder sumar los errores debido a la irregularidad de las precipitaciones en la cuenca, representados por las altu

ras de precipitación en algunos puntos aislados (especialmente en cuencas montañosas); por la indeterminación de la parte de la precipitación que absorbe el terreno; por la no linealidad de los caudales de crecidas en función de las precipitaciones, que afecta a la velocidad de propagación de las crecidas y a la suma de caudales producidos por temporales.

#### 3.6.3.1 Método por la Aplicación de la Fórmula Racional

Su origen, se remonta al siglo XIX, puede considerarse como el método más antiguo de todos los de su género, y padre de la mayoría de ellos.

La fórmula racional, asume que la distribución de la precipitación es uniforme en toda la cuenca y por lo tanto el escurrimiento es uniforme.

Se expresa comúnmente de la manera siguiente:

$$Q = CIA$$

Donde Q = Caudal máximo instantáneo

C = Coeficiente de escorrentía que depende de la cobertura del suelo, permeabilidad del suelo y de la pendiente.

I = Intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración y período de retorno determinado.

A = Area de recogimiento.

Dependiendo de las unidades en que se miden las variables, - así adoptará un coeficiente dimensional; por ejemplo:

Cuadro 3.7

AREA	I	FORMULA	Q
Km <sup>2</sup>	mm/min	16.667 CIA	m <sup>3</sup> /seg
km <sup>2</sup>	mm/h	0.278 CIA	m <sup>3</sup> /seg

Se le llama fórmula racional, porque las unidades de las variables que intervienen poseen una consistencia numérica - aproximada.

Esta expresión, no considera el almacenamiento que puede ocurrir en la cuenca y es aplicable para áreas menores de 2.5 - km<sup>2</sup>.

Su principal defecto, es considerar constante el coeficiente de escorrentía; tal hipótesis sólo es admisible a grandes - rasgos en cuencas muy impermeables, como lo son áreas pavimentadas para las cuales se concibió inicialmente. Además, la expresión sería correcta en la hipótesis de escorrentía uniforme, pero en los casos reales subestima el caudal.

### 3.6.3.2 Método de las Isocronas

Consiste en la aplicación de la fórmula racional, descomponiendo la superficie de la cuenca en un cierto número de sectores ( $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ), limitados por líneas isocronas, de tal manera que una gota de agua que caiga en uno de estos sectores tarda el mismo tiempo en llegar a un punto dado.

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

El método está íntimamente relacionado con el del Hidrograma Unitario y su origen y bases son prácticamente los mismos, ya que han sido derivados de los mismos modelos.

Se puede afirmar, que matemáticamente la teoría del Hidrograma Unitario está basada en los conceptos de las isocronas.

La forma del hidrograma de una cuenca depende del tiempo de propagación de la crecida a través de la cuenca, así como de su forma y de sus características de almacenamiento. Cuando la escorrentía se considera como flujo de entrada, y el hidrograma como flujo de salida, el problema es análogo al tránsito de avenidas o caudales con almacenamiento simple.

Para simplificar el análisis, se supone en la cuenca la distribución de la lluvia uniforme para una duración igual - al intervalo escogido para el trazo de las isocronas, se admite también que el coeficiente de escorrentía superficial , conserva en cada zona un valor constante C durante toda la tormenta.

El caudal máximo Q para una tormenta con intensidad uniforme I, será obtenido cuando la duración de dicho evento meteorológico, sea igual al tiempo de concentración de la cuenca o más allá del tiempo de concentración, el caudal de salida será constante hasta el fin de la lluvia e igual a la suma de los caudales.

$$Q_{\max} = \sum C_j I_j A_j$$

Bajo esta última expresión es utilizado el método de las isocronas para el cálculo del caudal máximo; sin embargo, puede tomarse en cuenta la variación de la intensidad en el tiempo y la distribución espacial de la precipitación en toda la cuenca, la fórmula anterior toma la forma siguiente:

$$Q_{\max} = \sum C_j I_j A_j$$

Para el trazo de las curvas isocronas, deben seguirse los criterios que a continuación se detallan:

- i) Las curvas isocronas cortan ortogonalmente a los cauces, presentando concavidad hacia aguas abajo.
- ii) El número mínimo de isocronas es de 6 y el área máxima entre isocronas será  $2.5 \text{ km}^2$ .
- iii) La velocidad de propagación de la onda se considera constante, lo cual permite definirla en función de la ley física.

$$\bar{d} = v \cdot t$$

Donde:  $d$  = Longitud del cauce más largo ( $L_c$ )

$t$  = Tiempo de concentración ( $t_c$ )

$V$  = Velocidad

- iv) El tiempo entre isocronas se puede calcular como:

$$T = t_c / N \quad \therefore N = \text{Area total } 2.5 \text{ km}^2.$$

Donde:  $T$  = Tiempo entre isocronas

$N$  = Número de isocronas  $\geq 6$

$t_c$  = Tiempo de concentración

- v) La distancia entre isocronas, se puede definir como una relación lineal entre los tiempos y la longitud del cauce más largo, así:

$$L_{\text{ISOC}} = (T \times L_c) / t_c$$

### 3.6.3.3 Método del Hidrograma Unitario

Consiste en la aplicación de la teoría de L. Sherman, que no es más que la suma de los hidrogramas elementales de todas - las sub-áreas de la cuenca, modificadas por el efecto del - tiempo de viaje a través del cauce o cauces, así como por el almacenamiento en los mismos.

Se llama Hidrograma Unitario, puesto que por conveniencia el volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 mm ó 1 cm.

Se puede definir un hidrograma unitario, como el hidrograma de 1 mm ó 1 cm. de escorrentía directa de una tormenta con - una duración específica.

La cantidad de escorrentía es inherente a la suposición de - un hidrograma lineal; existe la hipótesis que las ordenadas de un flujo son proporcionales al volumen de escorrentía para todas las tormentas de una duración dada y que el tiempo base de todos los hidrogramas es igual; como es obvio esta suposición no es completamente válida.

Las hipótesis en que se basa el hidrograma unitario son:

- i) La distribución de la lluvia en toda la cuenca es uniforme, en cuanto a cantidad e intensidad.
- ii) Los hidrogramas de escorrentía directa y con un tiempo base común, son directamente proporcionales al volumen total de la escorrentía .

iii) El hidrograma resultante de una tormenta con un exceso de precipitación de intensidad variable puede construirse superponiendo varios hidrogramas unitarios en el que cada uno equivale al exceso de precipitación.

Para la elaboración del hidrograma unitario, debe seguirse el procedimiento que a continuación se describe:

- i) Se escogen las crecidas más representativas de la cuenca en estudio, con las alturas máximas y características del hidrograma completo y limpio.
- ii) Debe obtenerse toda la información de precipitación de la cuenca, para los eventos indicados en el numeral i incluyendo necesariamente un pluviograma.
- iii) Determinar la curva masa de la precipitación para la estación pluviográfica seleccionada que permitirá transformar toda la información a nivel diario en horario y de acuerdo a la tendencia del pluviograma estudiado.
- iv) Obtener la precipitación media horaria de toda la cuenca por medio de cualquier método conocido.
- v) Dibujar para cada evento estudiado el hietograma de la lluvia o sea la distribución horaria de la precipitación y el hidrograma de crecidas.
- vi) Del hidrograma total separar el flujo base y el volumen de escorrentía directa.
- vii) Obtener la lámina efectiva de precipitación (he) divi-

diendo el volumen de escorrentía directa entre el área de la cuenca.

viii) Trazar la lámina efectiva de precipitación en el hietograma de lluvia y determinar la duración de la tormenta analizada.

ix) Obtener las ordenadas unitarias (H.U.), mediante la división de las ordenadas de escorrentía directa entre la lámina efectiva de lluvia.

Debido a que las crecidas analizadas, no pueden tener las misma láminas o duraciones y además, es erróneo pensar que un hidrograma unitario bastaría para una cuenca, se hace necesario obtener un promedio que sería más representativo de cualquier evento que se suceda; para la obtención de este hidrograma unitario promedio se hace uso de un artificio llamado hidrograma en "S" o curva "S", el cual puede obtenerse de la manera siguiente:

- i) Con las ordenadas unitarias (H.U.) de cada evento se acumulan para cada uno.
- ii) Teniendo los valores acumulados por evento se grafican en papel normal, con la finalidad de poder trazar una curva "S" promedio, tarea un poco más sencilla de realizar, puesto que los hidrogramas tienen una tendencia clara y definida.
- iii) Teniendo el hidrograma en "S" se puede obtener el hidro

grama unitario promedio, siguiendo el procedimiento contrario al numeral i, obteniéndose el hidrograma unitario, para un sitio o cuenca determinado.

En la utilización de este método, pueden presentarse dos alternativas; una de ellas es que se desee realizar el cálculo de futuras crecidas, en el sitio para el cual se obtuvo el hidrograma unitario y la otra situación, se da cuando se desea trasladar el hidrograma para otra cuenca que posee características similares o sea una subcuenca de la cuenca estudiada.

En el caso de generar crecidas en el punto donde se obtuvo el hidrograma unitario, el procedimiento a seguir es:

- i) Analizar las precipitaciones máximas por métodos estadísticos y determinar la precipitación para el período de retorno propuesto.
- ii) Lograr la distribución horaria de la lluvia máxima partiendo de una distribución conocida.
- iii) Obtención de la lámina efectiva de precipitación, considerando que las pérdidas son las mismas que en el caso original estudiado para la determinación del Hidrograma Unitario.
- iv) Obtención del Hidrograma Unitario aplicando el procedimiento inverso, realizado para la obtención del H.U. original.

Para el caso que se desee trasladar información a una cuenca similar, el procedimiento a seguir se conoce como Hidrograma Unitario Sintético.

### Hidrograma Unitario Sintético

Es uno de los métodos más adecuados para el traslado del Hidrograma Unitario fue desarrollado por Snyder y sus ecuaciones básicas son:

$$T_p = 0.75 C_t (L.L_c)^{0.3}$$

$$T_r = \frac{T_p}{5.5}$$

$$Q_p = \frac{0.276 C_p}{T_p}$$

Donde:  $T_p$  = Tiempo de retardo de la cuenca que es igual a la distancia del centro de gravedad del hidrograma al pico del hidrograma.

$L$  = Longitud del cauce más largo (km)

$L_c$  = Longitud del centro de gravedad de la cuenca al punto de interés (km)

$T_r$  = Duración efectiva de la lluvia en horas

$Q_p$  = Caudal pico del hidrograma expresado en  $m^3/seg/km^2/mm$ .

$C_p$  y  $C_t$  = Coeficientes que dependen de las características de la cuenca y de las condiciones hidrológicas de las mismas.

#### 3.6.3.4 Hidrograma Triangular

El método del Hidrograma Triangular, considera que el comportamiento del escurrimiento en función del tiempo, es en forma de triángulo, o sea que las curvas de ascenso y descenso del hidrograma, se convierten en líneas rectas, las cuales - en su punto de convergencia representan el caudal máximo.

Su conformación, está determinada, por los tiempos de duración de la tormenta efectiva y el tiempo de desplazamiento del flujo.

Partiendo de las consideraciones del S.C.S., el tiempo base del Hidrograma Triangular, debe calcularse por la ecuación:

$$T_b = T_p + T_r$$

Donde :  $T_p = \frac{P}{2} + 0.6 T_c$

$$T_r = 1.67 T_p$$

Como se muestra en la figura 3.17 y en base a la geometría, las expresiones a emplear, son las siguientes:

$$V = q_p \quad t_b/2$$

De donde:

$$q_p = \frac{2V}{tb} \quad \text{y} \quad V = CIDA$$

Donde:

$T_p$  = Tiempo desde el inicio de la tormenta hasta el máximo del caudal (min).

$D$  = Duración de la tormenta (min)

$T_c$  = Tiempo de concentración (min)

$T_r$  = Tiempo desde el caudal máximo hasta el final del descenso de la avenida (min)

$V$  = Volumen de agua escurrida ( $m^3$ )

$q_p$  = Caudal pico, caudal máximo ( $m^3/s$ )

$C$  = Coeficiente de escorrentía

$I$  = Intensidad de la lluvia (mm/h)

$A$  = Area de la cuenca ( $km^2$ ).

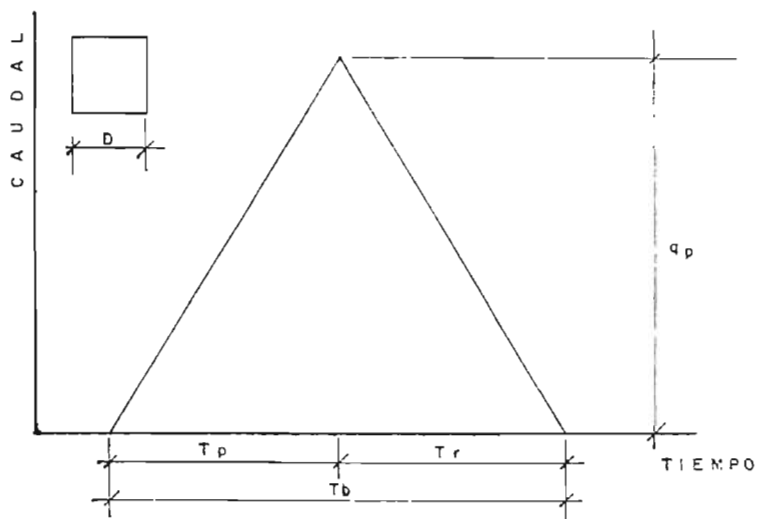


FIG. 3 17 CONFORMACION DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR

El tiempo  $0.6 \bar{T}_c$ , es un factor empírico adoptado por los hidrólogos del Soil Conservation Service, como representativo del retraso del almacenamiento en la cuenca; además, el Soil Conservation Service supone que  $T_r = HT_p$ , en la que H es una constante que se determina para cada cuenca, pero han adoptado un valor de  $H = 1.67$  como un valor promedio.

Este método considera que la lluvia, se distribuye uniformemente en la cuenca y que el coeficiente de escorrentía, permanecerá constante en el tiempo.

Los parámetros establecidos por este método, no han sido comprobados para el país, por lo que su utilización es muy reducida; sin embargo, en estudios desarrollados sobre drenaje pluvial urbano, para la zona metropolitana de San Salvador, se han utilizado para la estimación de los caudales de diseño, los métodos del Hidrograma Unitario y el Hidrograma Triangular, obteniéndose resultados similares en ambos métodos.

#### 3.6.4 Métodos Estadísticos

Los métodos estadísticos, se basan en el principio de que el comportamiento de una serie de información hidrológica que se consideran como variables continuas y aleatorias, se les puede aplicar los conceptos estadísticos.

Puede decirse que el conjunto de datos o resultados de un fe

nómeno se llama población y por consiguiente se les pueden aplicar las leyes estadísticas. Partiendo de esta cualidad - se plantea la hipótesis que el comportamiento definido por la muestra se puede repetir en un futuro lo que permite relacionarlos con el concepto de probabilidad.

Estos métodos, son aplicables siempre y cuando se cuente con registros de caudales bastante considerables; entre estos métodos puede mencionarse, el ajuste de caudales máximos instantáneos.

#### 3.6.4.1 Ajuste de Caudales Máximos Instantáneos

Este método consiste en la aplicación de una ley estadística aplicable a valores extremos, utilizándose generalmente en - nuestro medio, el Ajuste Probabilístico de Gumbel.

El procedimiento a seguir es el que a continuación se describe.

- i) Se obtienen todos los valores de caudales máximos instantáneos que se hayan registrado en el sitio de interés o punto cercano que esté ubicado en la misma cuenca.
- ii) Se ordenan los valores de menor a mayor.
- iii) Se calcula su frecuencia (F), por medio de la fórmula

$$F = \frac{n}{m + 1} ,$$

Donde:  $n$  = Número total de datos

$m$  = Número de orden correlativo.

iv) Se realiza el ajuste gráfico en papel Gumbel, obteniéndose la curva de frecuencia acumulada, permitiendo con ello la extrapolación de los datos a períodos de retorno mayores.

Este método, proporciona buenos resultados, siempre y cuando se cuente con suficiente información (10 años como mínimo) ; una de sus limitantes de mayor relevancia es que no puede ser trasladado a otros puntos, además en muchas cuencas pequeñas no existen estaciones hidrológicas.

### 3.6.5 Correlación Hidrológica

#### 3.6.5.1 Método del U.S. Soil Conservation Service

El método se basa en investigaciones desarrolladas por los Ingenieros del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en los años 1940-1970.

El método toma como variables principales el tipo de suelo (Geología), la cobertura de la región (urbana o rural) y la topografía de la zona. Según el método son estas variables las que poseen mayor incidencia en la generación de escorrentía, permitiendo de esta manera, cuantificar las cantidades de lluvia escurrida, de acuerdo a la información física y

climatológica de la zona.

Según lo expuesto en acápites anteriores, las gotas caídas al inicio de una tormenta serán absorbidas y retenidas por el suelo que conforme se va saturando, permitirá la escorrentía de un porcentaje cada vez mayor, el cual tenderá al 100%.

El U.S.SCS, en función de las consideraciones cualitativas anteriores y con lo valores experimentales, ha desarrollado una fórmula que conjuga estos parámetros; esta expresión es la siguiente:

$$\leq E = 0 \quad \text{para} \quad \leq P \leq P_o$$

$$\leq E = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad \text{para} \quad \leq P < P_o$$

Donde:

$\leq P$  = Lluvia acumulada desde el inicio de la tormenta, hasta alcanzar el instante considerado.

$\leq E$  = Escorrentía provocada por  $\leq P$ , o componente de la lluvia neta de  $P$ .

$P_o$  = Parámetro o umbral de escorrentía.

Al graficar esta ley para diferentes valores de  $P_o$ , da una familia de curvas como las que se muestran en la fig. 3.18. La curva límite para  $P_o = 0$  es la bisectriz  $\leq E = \leq P$ , y corresponde a una cuenca ideal totalmente impermeable, sin pérdidas ni retención superficial. Las otras tienen un primer -

tramo de escorrentía nula hasta  $\leq P = P_0$ , y a partir de ese valor la curva crece y tiende asintóticamente a una recta a  $45^\circ$ .

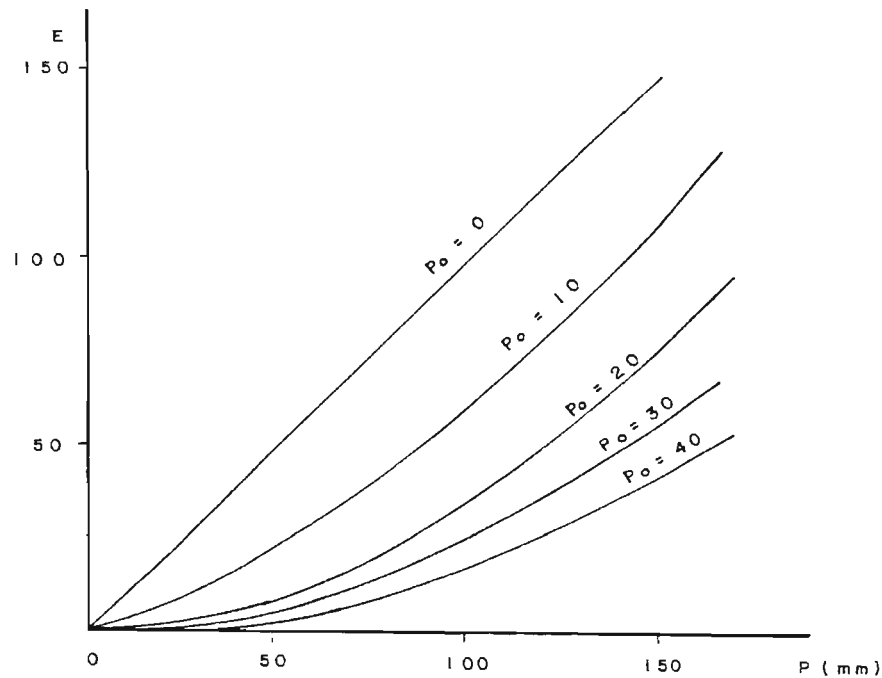


FIG. 3.18 LEYES DE TRANSFERENCIA PRECIPITACION - ESCORRENTIA.

En este método, el único parámetro indeterminado y que fija las magnitudes absolutas del proceso, es  $P_0$ .

Los terrenos arenosos y de menor espesor, poseen un valor de parámetro  $P_0$  más alto que los arcillosos y son roca superficial. La vegetación tiende a aumentar  $P_0$  así como todos aquellos factores que faciliten la retención superficial del agua (poca pendiente, cultivos en surco, etc.). Pero, incluso en una misma cuenca, variará de unas fechas a otras, según la humedad retenida en el suelo al iniciarse la lluvia, lo que a su vez dependerá de las lluvias precedentes; des -

pués de una época de sequía el Po será mayor que en un tempo ral.

En el cuadro 3.8, se presentan los valores propuestos por el S.C.S. para la determinación de Po.

CUADRO 3.8 ESTIMACION DEL PARAMETRO Po

Uso de la tierra	Pendiente %	Características Hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
		R/N	20	14	11	8
Cultivos en hileras	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
		R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
		R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
		R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
		R/N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	—	33	18	13
		Muy buena	—	41	22	15
	≥ 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	—	35	17	10
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	—	34	19	14
		Buena	—	42	22	15
	≥ 3	Pobre	—	34	19	14
		Media	—	42	22	15
		Buena	—	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	—	34	22	16
		Espesa	—	47	31	23
		Muy espesa	—	65	43	33
Rocas permeables	≥ 3		3			
	< 3		5			
Rocas impermeables	≥ 3		2			
	< 3		4			

CAPITULO IV

GENERACION DE MODELO PARAMETRICO  
=====

## CAPITULO IV

### "GENERACION DE MODELO PARAMETRICO"

#### 4.1 Generalidades

El modelo generado, adopta como esquema de escurrimiento, el método del Hidrograma Triangular, ya que éste considera el retardo que puede darse en el tránsito de la avenida, producto de la sinuosidad y longitud del cauce, entre otros parámetros.

Con el objeto de que el modelo sea de fácil aplicación, su resolución se proporciona por medio de un gráfico, el cual utiliza como variables de entrada los parámetros siguientes:

- i) Area de la cuenca (A en km<sup>2</sup>)
- ii) Longitud del cauce más largo (L en km)
- iii) Período de retorno (T en años)
- iv) Duración de la tormenta (D = Tiempo de concentración - en min)
- v) Pendiente media de la cuenca (S en %)
- vi) Permeabilidad y cobertura de la cuenca
- vii) Coeficiente de escorrentía (C)
- viii) Tiempo base del hidrograma (Tb en min).

En función del análisis de una serie de cuencas consideradas como representativas de todo el país, pudo establecerse la -

forma de agruparlas de tal manera, que su comportamiento ante el estímulo de un evento meteorológico extremo fuese similar.

Una vez conformado este agrupamiento, se logró establecer una mejor relación entre los parámetros analizados, aplicando procesos de correlación lineal.

Las cuencas utilizadas en esta investigación, poseen áreas de recogimiento menores o iguales a cien kilómetros cuadrados - (100 km<sup>2</sup>), el cual para fines de este trabajo representa la magnitud máxima que puede poseer una cuenca, para que sea considerada como pequeña.

Se ha tomado una muestra de 98 cuencas, las cuales conforman un área de 3635.75 km<sup>2</sup> y corresponde a un 17.3% de toda la extensión territorial de El Salvador; estimándose que esta muestra, es representativa de todo el país.

Los parámetros investigados para cada cuenca son: Area, Longitud del cauce más largo, Elevación máxima y elevación mínima de la cuenca, Perímetro, Factor de forma, Factor de compacitad, Extensión superficial, Pendiente media de la cuenca, Tiempo de concentración y el rectángulo equivalente. En el cuadro 4.1 se muestran los valores de cada uno de estos parámetros - para las diferentes cuencas analizadas.

#### 4.2 Agrupación de Cuencas en Base a Parámetros Morfológicos

En análisis de crecidas, uno de los parámetros de mayor influencia lo constituye la forma de la cuenca, ya que interviene en la obtención del tiempo de concentración de la misma. Puede afirmarse, que si se realiza una buena estimación del tiempo de concentración, se obtendrá una mayor aproximación en la cuantificación de la magnitud de las avenidas máximas; esta afirmación, conlleva a la agrupación de las cuencas en base a su forma, con el objeto de minimizar en cierta medida los errores probables en la estimación del tiempo de concentración.

Resulta difícil agrupar una serie de cuencas mediante una inspección visual, dada la diversidad de formas que éstas poseen; por esta razón, se adoptó como parámetro de agrupación una relación lado corto a lado largo ( $l:L$ ) del rectángulo equivalente de cada cuenca, conociendo que el rectángulo equivalente posee un área y perímetro igual a la cuenca analizada; además, es considerado como una herramienta que permite efectuar comparaciones entre cuencas.

En el cuadro 4.1, se presentan las características del rectángulo equivalente (lado largo  $L$ , lado corto  $l$ ) para cada cuenca de la muestra analizada. Si calculamos la relación lado corto a lado largo para cada cuenca, se observa que -

CUADRO 4.1 - PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE CUENCAS MUESTREADAS .

C A U C E	AREA (km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms	H.max. msnm	H.min. msnm	PERIM (km)	Ft	Fc	EXT SUP.	S %	RECT EQUIVALEN.		TIEMPO DE CONCENT. min
										L	I	
RIO EL MOLINO	100.00	28.00	1750.00	200.00	54.50	0.13	1.53	1.79	15.50	22.88	4.37	117.55
RIO TACUBA	34.20	13.00	1400.00	180.00	32.50	0.20	1.56	1.32	20.90	13.77	2.48	63.66
RIO ASHUQUEMA	29.00	12.50	1051.00	160.00	27.00	0.19	1.40	1.16	16.20	10.82	2.68	68.87
RIO NEJAPA	34.87	15.50	1425.00	340.00	34.00	0.15	1.61	1.12	16.40	14.61	2.39	69.28
RIO SAN ANTONIO (AH.)	78.23	12.45	2011.00	420.00	49.45	0.49	1.59	3.06	16.20	21.11	3.61	55.49
RIO IZCANAL	13.48	16.50	1060.00	3.00	32.00	0.05	2.44	0.41	28.80	15.11	0.89	87.02
RIO EL ROSARIO	77.68	30.00	1300.00	4.00	54.00	0.09	1.72	1.29	14.70	23.73	3.27	148.77
RIO CAUTA	31.11	27.00	1436.87	6.50	53.00	0.04	2.66	0.58	25.60	25.27	1.23	121.07
RIO CARA SUCIA	36.66	25.00	1297.00	3.50	42.00	0.06	1.94	0.73	21.40	19.08	1.92	120.57
RIO AGUA CHAPIO	15.75	18.00	900.00	4.00	32.50	0.05	2.29	0.44	22.60	15.21	1.04	102.82
RIO GUAYAPA	27.00	21.50	1425.00	12.41	42.50	0.06	2.29	0.63	27.20	19.89	1.36	98.60
RIO EL NARANJO	39.38	25.00	1425.00	4.00	47.80	0.06	2.12	0.79	22.80	21.96	1.79	115.60
RIO METALIO	32.88	17.50	560.00	7.50	36.00	0.11	1.76	0.94	9.60	15.94	2.06	134.03
RIO SAN JOSE	46.44	16.50	2200.00	500.00	35.50	0.17	1.46	1.41	24.90	14.56	3.19	60.64
RIO TEXIS	40.73	15.00	1100.00	320.00	35.00	0.18	1.54	1.36	12.20	14.74	2.76	76.51
RIO MOJA FLORES	51.00	21.00	1194.00	272.00	40.00	0.12	1.57	1.21	12.90	17.00	3.00	100.75
RIO TAMULASCO	71.24	16.85	1643.48	425.97	46.20	0.25	1.53	2.11	14.40	19.43	3.67	73.99
RIO MOTCHICO	37.22	15.50	1400.00	243.00	38.00	0.15	1.74	1.20	19.00	16.78	2.22	72.29
RIO TIHUAPA	89.75	29.00	1000.00	5.00	55.00	0.11	1.63	1.55	10.50	23.72	3.78	166.81
RIO EL MUERTO	55.03	20.00	1131.21	14.96	43.00	0.14	1.62	1.38	15.00	18.53	2.97	110.33
RIO COMASAGUA	41.61	22.00	1278.00	12.71	44.50	0.09	1.93	0.95	19.60	20.19	2.06	109.58
RIO CHILAMA	74.80	21.00	1221.00	5.85	53.25	0.17	1.72	1.78	14.10	23.43	3.19	114.43
RIO EL SUNZAL	52.38	22.00	1402.00	9.00	49.00	0.11	1.90	1.19	19.20	22.13	2.37	106.93
RIO ISMATACO	26.75	7.50	754.00	260.00	25.00	0.48	1.35	1.78	9.60	9.76	2.74	51.48

FUENTE ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.1 - PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE CUENCAS MUESTREADAS.

C A U C E	A R E A ( km <sup>2</sup> )	L O N G I T . D E L . C . k m s .	H m a x . m s h m	H . m l n m s n m	P E R I M . ( k m )	F t	F c	E X T . S U P	S %	R E C T . E Q U I V A L E N		T I E M P O D E C O N C E N T . m i n
										L	I	
RIO COMALAPA	96.15	31.75	900.00	1.50	61.00	0.10	1.74	1.51	9.20	26.93	3.57	190.94
RIO TILAPA	43.96	17.00	808.00	40.00	37.50	0.15	1.56	1.29	11.60	16.00	2.75	110.14
RIO SEPAQUIAPA	66.44	21.00	1014.19	30.00	51.00	0.15	1.75	1.56	12.10	22.55	2.95	122.49
RIO TAISHUAT	99.64	27.50	544.36	100.00	56.90	0.13	1.60	1.81	4.50	24.36	4.09	201.48
RIO CHILANGUERA	40.81	21.65	882.95	27.00	46.70	0.09	2.05	0.94	13.40	21.45	1.90	128.61
RIO ALTINA	31.14	13.40	922.62	150.00	30.80	0.17	1.55	1.16	13.80	13.01	2.39	78.28
RIO TALNIQUE	99.24	15.70	1500.12	472.30	45.70	0.40	1.28	3.16	10.30	17.02	5.63	75.33
RIO SAN JUAN	89.06	19.80	1108.00	110.00	44.60	0.23	1.32	2.25	10.60	17.02	5.21	111.95
RIO EL TAMARINDO	93.61	33.20	1500.00	80.00	64.30	0.08	1.86	1.41	14.70	28.91	3.24	149.37
RIO EL CENSO	72.53	19.90	1300.00	150.00	45.70	0.18	1.50	1.82	13.50	19.04	3.61	100.58
RIO TECUMA	75.28	23.60	2280.00	160.00	49.80	0.14	1.61	1.59	24.40	21.38	3.52	89.07
RIO SANTA CRUZ	42.00	20.90	647.53	16.00	43.40	0.10	1.88	1.00	9.70	19.55	2.15	146.61
RIO ARAUTE	72.00	17.15	1320.78	230.00	38.55	0.24	1.21	2.06	12.90	12.53	5.75	88.72
RIO GRANDE (LA LIBERTAD)	42.19	22.10	1308.00	8.00	42.10	0.09	1.81	0.95	20.00	18.81	2.24	109.18
RIO APANCOYO	46.30	25.40	1104.00	10.00	50.70	0.07	2.09	0.91	16.10	23.37	1.98	134.31
RIO SAN ANTONIO (LA LIBERTAD)	18.80	19.80	1041.00	7.00	45.00	0.05	2.91	0.47	23.80	21.63	0.87	104.96
RIO MIZATA	35.94	24.90	1292.00	23.00	45.80	0.06	2.14	0.72	21.20	21.21	1.69	119.32
RIO EL ZONTE	31.06	19.90	1500.00	16.00	39.00	0.08	1.96	0.78	26.60	17.75	1.75	90.82
RIO EL JUTE	21.09	17.60	902.00	6.00	35.45	0.07	2.16	0.60	19.50	16.44	1.28	102.67
RIO HUISCOYOLATE	17.28	11.60	1100.00	148.00	25.50	0.13	1.72	0.74	22.90	11.21	1.54	60.49
RIO ORCOYO	5.10	7.55	548.00	100.00	16.50	0.09	2.05	0.34	19.80	7.58	0.67	53.27
RIO EL DIAMANTE	19.80	11.85	973.24	180.00	25.23	0.14	1.59	0.84	17.80	10.78	1.84	65.33
QDA. COMIZATE	21.28	8.40	1260.00	470.00	21.50	0.30	1.31	1.27	17.10	8.13	2.62	41.31
RIO SAN MIGUEL INGENIO	43.30	17.35	2278.00	580.00	38.65	0.14	1.64	1.25	25.80	16.74	2.59	60.88

FUENTE : ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.1 - PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE CUENCAS MUESTREADAS.

C A U C E	AREA ( km )	LONGIT. DEL C. kms.	H max. msnm	H. ml/n msnm	PERIM. ( km.)	F1	Fc	EXT SUP.	S %	RECT. EQUIVALEN.		TIEMPO DE CONCENT min
										L	I	
QDA. EL TIZATE	16.36	10.35	640.00	120.00	20.70	0.15	1.43	0.79	12.90	8.40	1.95	70.86
QDA. TIERRA BLANCA	11.30	15.75	920.00	66.50	31.50	0.05	2.62	0.36	25.40	15.00	0.75	85.77
RIO SANTA BARBARA	15.85	6.80	300.00	50.00	16.80	0.34	1.18	1.17	6.30	5.54	2.86	75.67
QDA. SUBE Y BAJA	8.03	10.20	920.00	2.00	20.94	0.08	2.07	0.39	32.40	9.64	0.83	59.62
QDA. EL NARANJO	18.63	7.84	1816.00	650.00	20.15	0.30	1.31	1.19	29.10	7.63	2.44	32.32
QDA. EL COCO	16.53	9.37	908.00	18.00	16.83	0.19	1.16	0.88	21.90	5.29	3.12	59.45
QDA. EL EMBOQUE	26.53	9.35	620.00	15.00	25.70	0.30	1.40	1.42	11.70	10.27	2.58	75.96
RIO EL COYOLAR	9.75	6.27	420.00	50.00	15.55	0.25	1.39	0.78	11.80	6.20	1.57	57.68
RIO LOS AUSOLES	22.50	10.10	1756.00	600.00	22.90	0.22	1.35	1.11	24.40	6.93	2.52	40.91
RIO EL PLAYON	17.25	5.70	1145.90	250.00	19.70	0.53	1.33	1.51	21.60	7.57	2.26	33.94
RIO POBOS	26.58	9.00	1014.00	250.00	23.10	0.33	1.25	1.48	14.60	8.38	3.17	52.38
RIO LOS DOMINGUEZ	11.58	7.00	820.00	540.00	16.80	0.24	1.38	0.83	8.20	6.66	1.74	37.63
RIO PACAYAN	17.51	14.60	1150.00	310.00	29.05	0.08	1.94	0.80	20.10	13.20	1.33	68.15
RIO CHAGUISTE	12.33	9.20	880.00	530.00	18.85	0.15	1.50	0.67	10.00	7.86	1.57	46.02
RIO LOS AMATES	17.68	11.53	953.00	264.00	23.15	0.13	1.54	0.77	16.40	9.76	1.81	61.52
RIO PEÑALAPA	43.64	11.20	1140.00	310.00	31.80	0.35	1.35	1.95	12.60	12.37	3.53	61.36
RIO TEPESCUINTE	40.75	10.21	3060.00	1030.00	27.05	0.39	1.19	2.00	31.60	8.99	4.53	33.87
QDA. EL RODEO	25.49	13.05	1548.00	418.00	25.60	0.15	1.42	0.98	22.40	10.33	2.47	55.44
RIO SUMPULITO	38.57	11.65	2136.00	790.00	33.04	0.28	1.49	1.65	21.70	13.71	2.81	43.69
QDA. SAN RAFAEL	11.28	12.50	659.00	96.00	26.15	0.07	2.18	0.45	22.50	12.15	0.93	71.76
RIO DE BATRES	25.91	16.88	1380.00	81.97	32.86	0.09	1.81	0.77	25.50	14.66	1.77	79.40
RIO MIRA FLORES	19.33	12.55	375.12	75.00	26.85	0.12	1.71	0.77	6.60	11.76	1.64	109.26
RIO YAMABAL	60.54	23.50	1663.00	155.00	52.85	0.11	1.90	1.29	19.40	23.89	2.53	100.75
QDA. AGUACAYO	12.00	7.69	520.00	1.00	16.55	0.20	1.34	0.78	15.00	6.40	1.68	65.60
RIO SIMUAPILAPA	13.23	10.05	520.00	10.36	23.07	0.13	1.78	0.66	14.00	10.24	1.29	81.11

FUENTE ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.1 - PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE CUENCAS MUESTREADAS.

C A U C E	AREA (km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms.	H.max. msnm	H. min msnm	PERIM. (km.)	F <sub>1</sub>	F <sub>0</sub>	EXT. SUP.	S %	RECT. EQUIVALEN		TEMPO DE CONCENT. HOR.
										L	I	
QDA. EL PATERNAL	29.70	10.32	1009.29	480.00	27.30	0.28	1.40	1.44	9.70	10.93	2.72	54.14
RIO EL RIACHUELO	23.05	12.53	754.00	60.00	28.45	0.15	1.56	0.92	14.50	12.36	1.86	82.56
RIO LAVATORIO	52.20	22.35	1932.00	860.00	40.75	0.10	1.58	1.17	14.80	17.37	3.01	76.99
RIO LA JOYA	37.21	16.65	1376.93	280.00	36.35	0.13	1.67	1.12	16.00	15.82	2.35	76.21
RIO CAIQUIE	35.00	12.55	792.00	55.00	31.15	0.22	1.47	1.39	12.50	12.85	2.72	84.86
RIO MERCEDES UMAÑA	39.83	25.75	1100.00	20.00	46.50	0.06	2.06	0.77	17.10	21.39	1.86	134.04
RIO GUAYAQUIQUIRA	73.63	16.75	908.00	170.00	41.20	0.26	1.34	2.20	8.60	16.00	4.60	102.48
RIO LOS PUEBLOS	39.00	21.95	813.14	218.00	42.55	0.08	1.91	0.89	9.50	19.25	2.03	121.77.
RIO SAN FCO. (ARCATAO)	25.38	12.15	1324.30	160.00	28.75	0.17	1.60	1.04	23.10	12.31	2.06	60.28
QDA. HONDA	31.13	10.70	1126.00	310.00	28.20	0.27	1.42	1.45	14.60	11.36	2.74	56.98
RIO SUNZACUAPA	11.25	11.09	800.00	30.00	22.25	0.09	1.86	0.51	23.00	10.00	1.13	69.26
RIO CONCHALIO	7.55	9.93	480.00	12.00	20.10	0.08	2.05	0.38	17.00	9.23	0.82	79.40
RIO EL POLCHO	8.50	12.20	2023.00	720.00	26.05	0.06	2.50	0.35	44.70	12.34	0.69	40.44
RIO GUAMULERA	59.85	15.80	1013.00	200.00	39.70	0.24	1.44	1.89	10.50	16.14	3.71	90.10
RIO CUCUAPA	26.35	19.25	1527.99	140.00	42.35	0.07	2.31	0.68	27.00	19.85	1.33	83.13
RIO TAQUILLO	10.38	12.72	840.00	33.95	24.50	0.86	2.13	0.41	25.00	11.33	0.92	75.31
QDA. DE TAPAGUASHUSHA	7.85	9.43	416.17	6.97	19.55	0.09	1.95	0.42	14.60	8.89	0.88	82.24
RIO LAS MARIAS	12.04	14.96	91.00	6.00	26.89	0.05	2.17	0.40	2.40	12.48	0.96	262.62
RIO SAN FCO. DE LA SOLEDAD	12.85	13.90	1277.05	18.00	27.70	0.07	2.16	0.48	35.10	12.85	1.00	67.78
RIO TEPEMICHIO	19.40	30.50	1216.00	333.00	30.55	0.02	1.94	0.32	20.00	13.88	1.40	127.21
RIO CHAGUITE	6.78	8.09	1151.90	456.00	16.85	0.10	1.81	0.42	26.70	7.52	0.90	36.59
RIO PULULUYA	33.60	19.25	615.19	6.64	36.30	0.09	1.75	0.87	10.50	16.06	2.09	138.80
RIO TAZULA	32.09	18.85	814.03	120.00	37.50	0.09	1.85	0.85	12.30	16.84	1.91	110.86
RIO AYACACHAPA	58.98	28.97	1040.00	4.40	64.00	0.07	1.97	1.02	13.50	24.60	2.40	157.95
RIO COPINULA	43.81	29.55	1816.05	20.00	60.00	0.05	2.54	0.74	27.10	28.45	1.54	116.69

FUENTE ELABORACION PROPIA

existen relaciones (1:L) que van desde 1:2 hasta 1:25; al efectuar una comparación visual de los rectángulos equivalentes, se considera conveniente ordenar las cuencas en cuatro tipos en función del intervalo de variación de la relación 1:L.

Cuadro 4.2 Tipos de Cuencas

TIPO	INTERVALO DE VARIACION DE LA RELACION 1 : L
Río Talnique	1:2 - 1:5
Río Comalapa	1:6 - 1:10
Río El Jute	1:11 - 1:14
Río San Antonio	1:15 - 1:25

En base a este criterio de agrupación, la muestra en análisis, quedaría estructurada como se expone en los cuadros 4.3 a 4.6.

El Río Talnique, puede ser tomado como representativo del grupo de cauces cuya cuenca posee una relación del rectángulo equivalente (1:L) que varía de 1:2 a 1:5; pertenece a los municipios de Jayaque, Talnique, Sacacoyo, Colón y Ciudad Arce en el departamento de La Libertad, nace 700 m. al este de la ciudad de Jayaque, realiza su recorrido de sur a norte y desemboca en el río Sucio.

CUADRO 4.3 - CUENCAS TIPO RIO TALNIQUE .

C A U C E	AREA ( km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms.	H max. msnm	H. min msnm	PERIM. ( km. )	Ft	Fc	EXT. SUP.	S %	TIEMPO DE CONCENT. mn.	$\rho$ : L
R I O A R A U T E	72.00	17.15	1320.78	230.00	36.55	0.24	1.21	2.06	12.90	86.72	1:2
R I O S A N T A B A R B A R A	15.85	6.80	300.00	50.00	16.80	0.34	1.18	1.17	6.30	75.67	1:2
Q D A. E L C O C O	16.53	9.37	908.00	18.00	16.83	0.19	1.16	0.88	21.90	59.45	1:2
R I O T E P E S C U I N T L E	40.75	10.21	3060.00	1030.00	27.05	0.39	1.19	2.00	31.80	33.87	1:2
R I O T A L N I Q U E	99.24	15.70	1500.12	472.30	45.70	0.40	1.28	3.16	10.30	75.33	1:3
R I O S A N J U A N	89.06	19.80	1108.00	110.00	44.60	0.23	1.32	2.25	10.60	111.95	1:3
Q D A. C O M I Z A T E	21.28	8.40	1260.00	470.00	21.50	0.30	1.31	1.27	17.10	41.31	1:3
Q D A. E L N A R A N J O	18.63	7.84	1816.00	650.00	20.15	0.30	1.31	1.19	29.10	32.32	1:3
R I O E L P L A Y O N	17.25	3.70	1145.90	250.00	19.70	0.53	1.33	1.51	21.60	33.94	1:3
R I O P O B O S	26.58	9.00	1014.00	250.00	23.10	0.33	1.25	1.48	14.80	52.38	1:3
Q D A. A G U A C A Y O	12.00	7.69	520.00	1.00	16.55	0.20	1.34	0.78	15.00	65.60	1:3
R I O G U A Y A Q U I Q U I R A	73.63	16.75	908.00	170.00	41.20	0.26	1.34	2.20	8.60	102.48	1:3
R I O A S H U Q U E M A	29.00	12.50	1051.00	180.00	27.00	0.19	1.40	1.16	16.20	68.67	1:4
R I O I S M A T A C O	26.75	7.50	754.00	260.00	25.00	0.48	1.35	1.78	9.60	51.48	1:4
Q D A. E L T I Z A T E	18.36	10.35	640.00	120.00	20.70	0.15	1.43	0.79	12.90	70.86	1:4
Q D A. E L E M B O Q U E	26.53	9.35	620.00	15.00	25.70	0.30	1.40	1.42	11.70	75.96	1:4
R I O E L C O Y O L A R	9.75	6.27	420.00	50.00	13.55	0.25	1.39	0.78	11.60	57.68	1:4
R I O L O S A U S O L E S	22.50	10.10	1758.00	600.00	22.90	0.22	1.35	1.11	24.40	40.91	1:4
R I O L O S D O M I N G U E Z	11.58	7.00	820.00	540.00	16.80	0.24	1.38	0.83	8.20	37.63	1:4
R I O P E Ñ A L A P A	43.64	11.20	1140.00	310.00	31.80	0.35	1.35	1.95	12.60	61.36	1:4
Q D A. E L R O D E O	25.49	13.05	1548.00	418.00	25.60	0.15	1.42	0.98	22.40	55.44	1:4
Q D A. E L P A T E R N A L	29.70	10.32	1009.29	480.00	27.30	0.28	1.40	1.44	9.70	54.14	1:4
Q D A. H O N D A	31.13	10.70	1128.00	310.00	28.20	0.27	1.42	1.45	14.60	55.98	1:4
R I O G U A M U L E P A	59.85	15.80	1013.00	200.00	39.70	0.24	1.44	1.89	10.50	90.10	1:4

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.3 - CUENCAS TIPO RIO TALNIQUE .

C A U C E	A R E A ( km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms	H max. msnm	H. min. msnm	PERIM. ( km)	Ft	Fc	EX.T. SUP	S %	TIEMPO DE CONCENT	ℓ : L
RIO EL MOLINO	100.00	28.00	1750.00	200.00	54.50	0.13	1.53	1.79	15.50	117.50	1:5
RIO SAN JOSE	46.44	16.50	2200.00	500.00	35.50	0.17	1.46	1.41	24.90	60.64	1:5
RIO TEXIS	40.73	15.00	1100.00	320.00	35.00	0.18	1.54	1.36	12.20	76.51	1:5
RIO TAMULASCO	71.24	16.85	1643.48	425.97	46.20	0.25	1.53	2.11	14.40	73.99 <sup>a</sup>	1:5
RIO ALTINA	31.14	13.40	922.62	150.00	30.80	0.17	1.55	1.16	13.80	78.28	1:5
RIO EL CENSO	72.55	19.80	1300.00	150.00	45.70	0.18	1.50	1.82	13.50	100.58	1:5
RIO CHAGUISTE	12.33	9.20	880.00	530.00	18.85	0.15	1.50	0.67	10.00	46.02	1:5
RIO LOS AMATES	17.68	11.53	953.00	264.00	23.15	0.13	1.54	0.77	16.40	61.52	1:5
RIO SUMPULITO	38.55	11.65	2138.00	790.00	33.04	0.28	1.49	1.65	21.70	43.69	1:5
RIO CAIQUIE	35.00	12.55	792.00	55.00	31.15	0.22	1.47	1.39	12.50	84.86	1:5

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.4 - CUENCAS TIPO RIO COMALAPA .

C A U C E	A R E A ( km <sup>2</sup> )	L O N G I T . D E L C . k m s .	H m a x . m s n m	H . m i n m s n m	P E R I M . ( k m . )	F t	F c	E X T . S U P .	S %	T I E M P O D E C O N C E N T m h .	λ : L
R I O T A C U B A	34.20	13.00	1400.00	180.00	32.50	0.20	1.56	1.32	20.90	63.66	1:6
R I O N E J A P A	34.87	15.50	1425.00	340.00	34.00	0.15	1.61	1.12	18.40	69.28	1:6
R I O S A N A N T O N I O ( A H . )	76.25	12.45	2011.00	420.00	49.45	0.49	1.59	3.06	18.20	55.49	1:6
R I O M O J A F L O R E S	51.00	21.00	1194.00	272.00	40.00	0.12	1.57	1.21	12.90	100.75	1:6
R I O T I H U A P A	89.75	29.00	1000.00	5.00	55.00	0.11	1.63	1.55	10.50	166.81	1:6
R I O E L M U E R T O	55.03	20.00	1131.21	14.96	43.00	0.14	1.62	1.38	15.00	110.33	1:6
R I O T I L A P A	43.96	17.00	808.00	40.00	37.50	0.15	1.58	1.29	11.60	110.14	1:6
R I O T A I S I H U A T	99.64	27.50	544.36	100.00	56.90	0.13	1.60	1.81	4.50	201.48	1:6
R I O T E C U M A	75.26	23.60	2260.00	160.00	49.80	0.14	1.61	1.59	24.40	89.07	1:6
R I O E L D I A M A N T E	19.80	11.85	973.24	180.00	25.23	0.14	1.59	0.84	17.80	65.33	1:6
R I O S A N M I G U E L I N G E N I O	43.30	17.35	2278.00	580.00	38.65	0.14	1.64	1.25	25.80	60.88	1:6
R I O L A V A T O R I O	52.20	22.35	1932.00	860.00	40.75	0.10	1.58	1.17	14.80	76.99	1:6
R I O S A N F C O . A R C A T A O	25.38	12.15	1324.30	160.00	28.75	0.17	1.60	1.04	23.10	60.28	1:6
R I O E L R O S A R I O	77.68	30.00	1300.00	4.00	54.00	0.09	1.72	1.29	14.70	148.77	1:7
R I O C H I L A M A	74.80	21.00	1221.00	5.85	53.25	0.17	1.72	1.78	14.10	114.43	1:7
R I O H U I S C O Y O L A T E	17.28	11.60	1100.00	148.00	25.50	0.13	1.72	0.74	22.90	60.49	1:7
R I O M I R A F L O R E S	19.33	12.55	375.12	75.00	26.85	0.12	1.71	0.77	6.80	109.26	1:7
R I O E L R I A C H U E L O	23.05	12.53	754.00	60.00	28.45	0.15	1.66	0.92	14.50	82.56	1:7
R I O L A J O Y A	37.21	16.65	1376.93	280.00	36.35	0.13	1.67	1.12	18.00	76.21	1:7
R I O M E T A L I O	32.88	17.50	560.00	7.50	36.00	0.11	1.76	0.94	9.60	134.03	1:6
R I O M O T O C H I C O	37.22	15.50	1400.00	243.00	38.00	0.16	1.74	1.20	19.00	72.29	1:8
R I O C O M A L A P A	96.15	31.75	900.00	1.50	61.00	0.10	1.74	1.51	9.20	190.94	1:8
R I O S E P A Q U I A P A	68.44	21.00	1014.19	30.00	51.00	0.15	1.75	1.58	12.10	122.49	1:8
R I O G R A N D E ( L A L I B E R T A D )	42.19	22.10	1306.00	8.00	42.10	0.09	1.81	0.95	20.00	109.18	1:8

FUENTE : ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.4 - CUENCAS TIPO RIO COMALAPA .

C A U C E	AREA ( km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL.C. kms.	Hmax. msnm	H.min msnm	PERIM. ( km )	Ft	Fc	EXT. SUP	S %	TIEMPO DE CONCEN. mn.	λ : L
RIO DE BATRES	25.91	16.88	1380.00	81.97	32.86	0.09	1.81	0.77	25.50	79.40	1:6
RIO SIHUAPILAPA	13.23	10.05	520.05	10.36	23.07	0.13	1.78	0.66	14.00	81.11	1:8
RIO CHAGUITE	6.78	8.09	1151.90	456.00	16.85	0.10	1.81	0.42	26.70	36.69	1:8
RIO PULULUYA	33.60	19.25	615.19	6.64	36.30	0.09	1.75	0.87	10.50	138.80 <sup>6</sup>	1:8
RIO EL ZUNZAL	52.38	22.00	1402.00	9.00	49.00	0.11	1.90	1.19	19.20	106.93	1:9
RIO EL TAMARINDO	93.61	33.20	1500.00	80.00	64.30	0.08	1.86	1.41	14.70	149.37	1:9
RIO SANTA CRUZ	42.00	20.90	647.53	16.00	43.40	0.10	1.88	1.00	9.70	146.61	1:9
RIO YAMABAL	60.54	23.50	1663.00	155.00	52.85	0.11	1.90	1.29	19.40	100.75	1:9
RIO SUNZACUAPA	11.25	11.09	800.00	30.00	22.25	0.09	1.86	0.51	23.00	69.26	1:9
RIO TAZULA	32.09	18.85	814.03	120.00	37.50	0.09	1.85	0.85	12.30	110.86	1:9
RIO CARA SUCIA	36.66	25.00	1297.00	3.50	42.00	0.06	1.94	0.73	21.40	120.57	1:10
RIO COMASAGUA	41.61	22.00	1279.00	12.71	44.50	0.09	1.93	0.95	19.60	109.58	1:10
RIO EL ZONTE	31.06	19.90	1500.00	16.00	39.00	0.06	1.96	0.78	26.60	90.62	1:10
RIO PACAYAN	17.31	14.60	1150.00	310.00	29.05	0.08	1.94	0.60	20.10	68.15	1:10
RIO LOS PUEBLOS	39.00	21.95	813.14	218.00	42.55	0.08	1.91	0.89	9.50	121.77	1:10
RIO TEPEMICHICO	19.40	30.50	1216.00	333.00	30.55	0.02	1.94	0.32	20.00	127.21	1:10
RIO AYACACHAPA	58.98	28.97	1040.00	4.40	54.00	0.07	1.97	1.02	13.50	157.96	1:10
QDA. TAPAGUASHUSHA	7.85	9.43	416.17	6.97	19.55	0.09	1.95	0.42	14.60	82.24	1:10

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.5 - CUENCAS TIPO RIO EL JUTE.

C A U C E	AREA ( km <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms.	H max. msnm	H. min. msnm	PERIM. ( km. )	Ft	Fc	EXT. SUP.	S %	TIEMPO DE CONCENT. mn.	λ : L
RIO CHILANGUERA	40.81	21.65	882.95	27.00	46.70	0.09	2.05	0.94	13.40	128.61	1:11
RIO ORCOYO	5.10	7.35	548.00	100.00	16.50	0.09	2.05	0.34	19.80	53.27	1:11
RIO MERCEDES UMANA	39.83	25.75	1100.00	20.00	46.50	0.06	2.06	0.77	17.10	134.04	1:11
RIO OONCHALIO	7.55	9.93	480.00	12.00	20.10	0.08	2.05	0.38	17.00	79.40	1:11
RIO EL NARANJO	39.35	25.00	1425.00	4.00	47.50	0.06	2.12	0.79	22.60	115.60	1:12
RIO APANCOYO	46.30	25.40	1104.00	10.00	50.70	0.07	2.09	0.91	16.10	134.31	1:12
QDA. SUBE Y BAJA	8.03	10.20	920.00	2.00	20.94	0.08	2.07	0.39	32.40	59.62	1:12
RIO TAQUILLO	10.38	12.72	840.00	33.95	24.50	0.86	2.13	0.41	25.00	75.31	1:12
RIO MIZATA	35.94	24.90	1292.00	23.00	45.80	0.06	2.14	0.72	21.20	119.32	1:13
RIO EL JUTE	21.09	17.60	902.00	6.00	35.45	0.07	2.16	0.60	19.50	102.67	1:13
QDA. SAN RAFAEL	11.28	12.50	850.00	96.00	26.15	0.07	2.18	0.45	22.50	71.76	1:13
RIO LAS MARIAS	12.04	14.96	91.00	6.00	26.89	0.05	2.17	0.40	2.40	262.62	1:13
RIO SAN FRANCISCO	12.85	13.90	1277.05	18.00	27.70	0.07	2.16	0.46	35.10	67.78	1:13

FUENTE : ELABORACION PROPIA

CUADRO 4.6 - CUENCAS TIPO RIO SAN ANTONIO.

C A U C E	AREA ( km. <sup>2</sup> )	LONGIT. DEL C. kms	H max. msnm.	H. min. msnm	PERIM. ( km. )	F1	Fc	EXT. SUP.	S %	TIEMPO DE CONCENT. mn.	p : L
RIO AGUACHAPIO	15.75	18.00	900.00	4.00	32.50	0.05	2.29	0.44	22.60	102.82	1:15
RIO GUAYAPA	27.00	21.50	1425.00	12.41	42.50	0.06	2.29	0.63	27.20	98.60	1:15
RIO CUCUAPA	26.35	19.25	1527.99	140.00	42.35	0.07	2.31	0.68	27.00	83.13	1:15
RIO IZCANAL	13.48	16.50	1060.00	3.00	32.00	0.05	2.44	0.41	28.80	87.02	1:17
RIO EL POLCHO	8.50	12.20	2023.00	720.00	26.05	0.06	2.50	0.35	44.70	40.44	1:18
RIO COPINULA	43.81	29.55	1816.05	20.00	60.00	0.05	2.54	0.74	27.10	118.69	1:18
QDA. TIERRA BLANCA	11.30	15.75	920.00	66.50	31.50	0.05	2.62	0.36	25.40	85.77	1:20
RIO CAUTA	31.11	27.00	1436.87	6.50	53.00	0.04	2.66	0.58	25.60	121.07	1:21
RIO SAN ANTONIO ( LA LIBERTAD )	18.80	19.80	1041.00	7.00	45.00	0.05	2.91	0.47	23.80	104.96	1:25

FUENTE : ELABORACION PROPIA

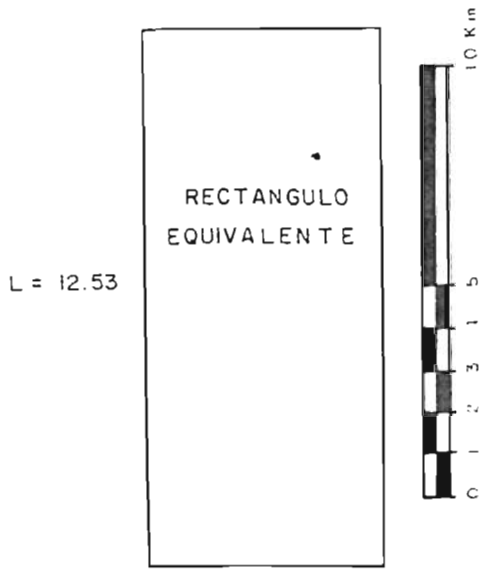
Para poder realizar una comparación entre las cuencas pertenecientes a este grupo, en las figs. 4.1 a 4.4, se muestran las cuencas de los ríos: Araute, Talnique, Ashuquema y Tamulasco, respectivamente.

Estas cuencas, poseen una forma circular y a medida que la relación  $l:L$  del rectángulo equivalente aumenta, éstas tienden a alargarse, conformando cuencas en forma de sector circular, ampliando su área en la cabecera.

Por otra parte, el factor de compacidad varía de 0.16 a 1.54 y su densidad de drenaje es muy alta.

Las cuencas cuya relación  $l:L$  varía entre 1:6 y 1:10, poseen forma similar a la del río Comalapa (Ver fig. 4.5) que pertenece a los municipios de Olocuilta, San Francisco Chinameca, Cuyultitán, Tapalhuaca, San Luis y San Juan Talpa en el departamento de La Paz; nace 5 kilómetros al norte de la ciudad de Olocuilta, efectúa su recorrido de sur a norte y al llegar a un área plana, se desparrama.

Otras cuencas características de este grupo, son las de los ríos: El Muerto, El Rosario, Yamabal y El Zonte, éstas son mostradas en las figuras 4.6 a 4.9; como puede observarse, su forma es mucho más alargada que las del grupo anterior y en algunos casos, su anchura tiende a permanecer constante y en



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS.

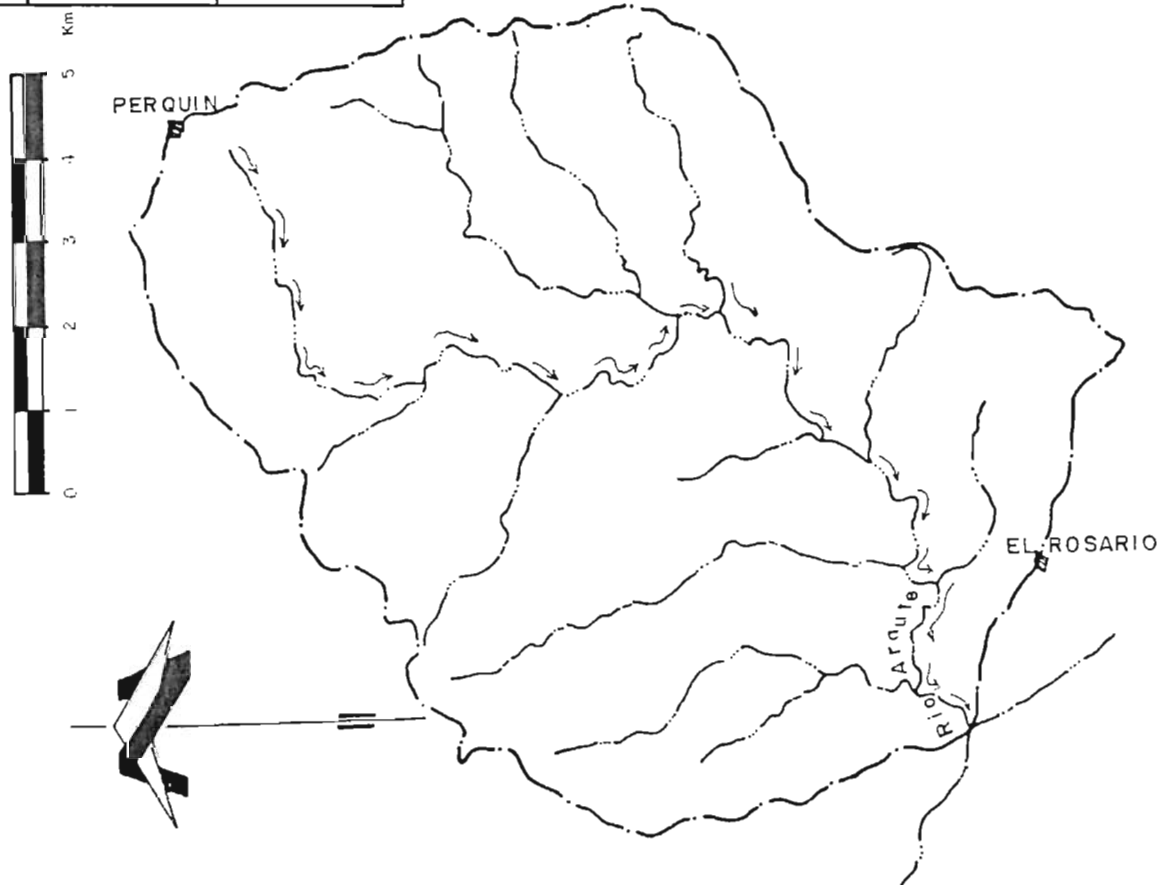
AREA	72.00 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	17.15 Km.
H.máx	1320.78 m.s.n.m.
H.mín.	230.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	36.55 Km
Ft	0.24
Fc	1.21
EXT. SUP.	2.06
S	12.90 %
L	12.53
I	5.75
I:L	1:2

SIMBOLOGIA :

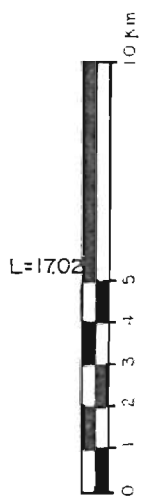
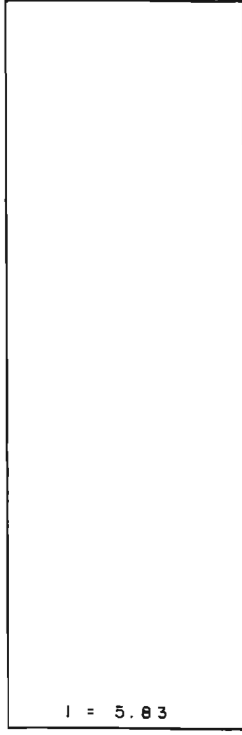
- · — LIMITE DE CUENCA.
- · · — CAUCE DE RIO.
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO TALNIQUE.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO  CUENCA DEL RIO ARAUTE .		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA.	FIG. N°: 4 I



RECTANGULO EQUIVALENTE .

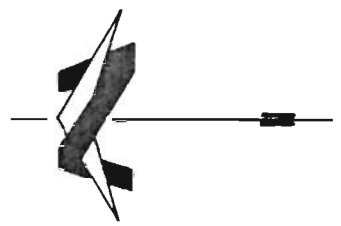


CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS SIMBOLOGIA

AREA	99.24 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	15.70 Km.
H. m <sup>dx</sup>	1500.12 msnm.
H. m <sup>in</sup> .	472.30 msnm.
PERIMETRO	45.70 Km.
Ft	0.40
Fc	1.28
EXT. SUP.	3.16
S	10.30%
L	17.02
l	5.83
l : L	1 : 3

- LIMITE CUENCA .
- - - CAUCE DE RIO .
- CIUDAD, PUEBLO .
- CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO TALNIQUE

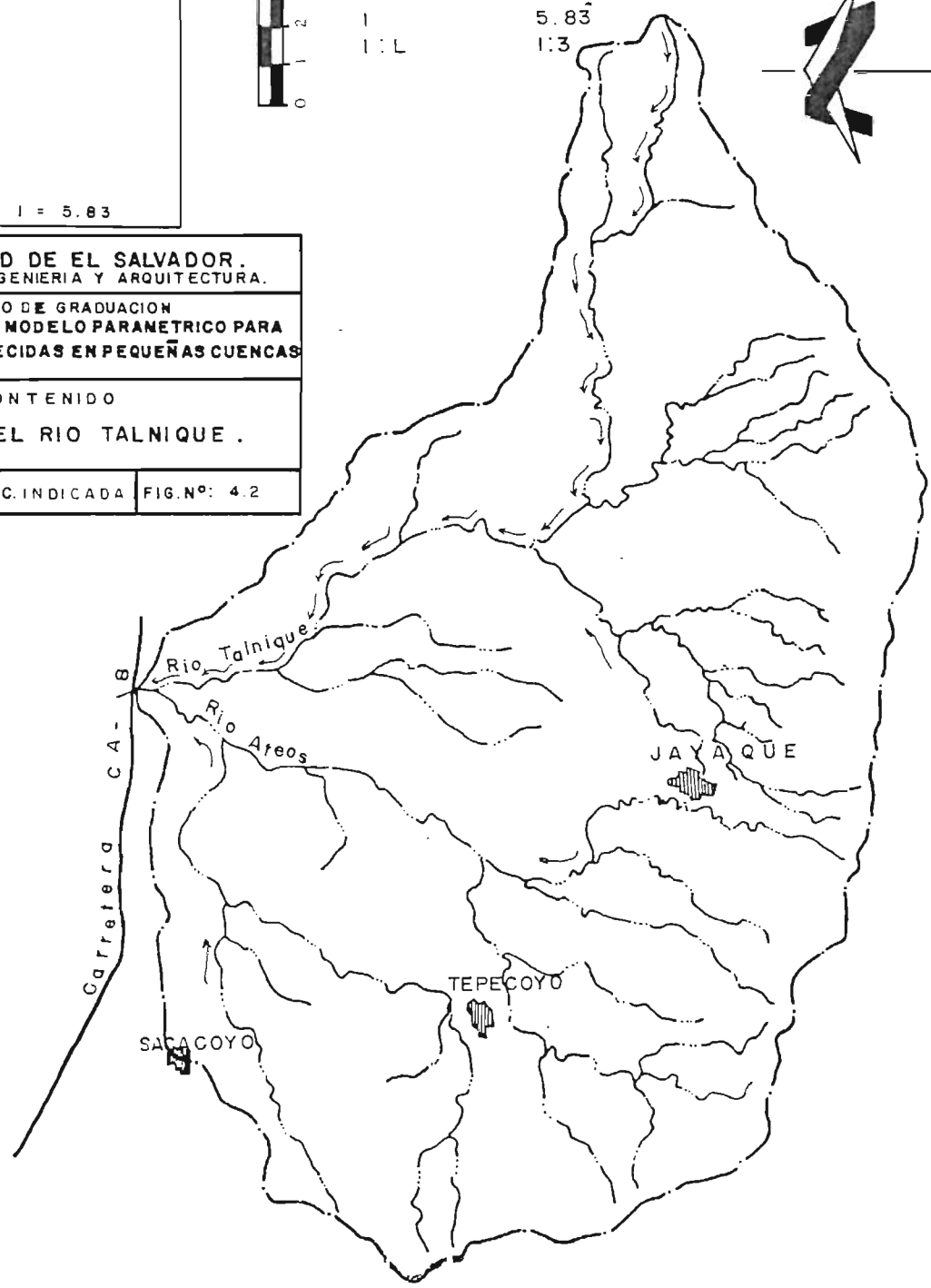


**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.**

TRABAJO DE GRADUACION  
**GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA  
 EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS**

CONTENIDO  
**CUENCA DEL RIO TALNIQUE .**

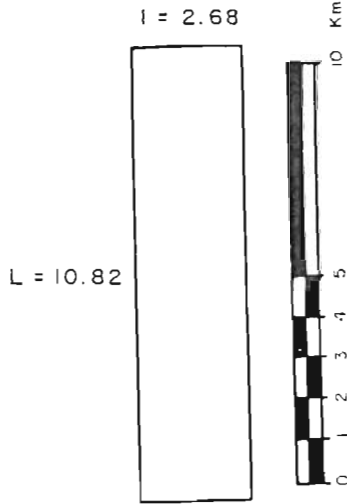
FECHA: ENE. /89    ESC. INDICADA    FIG. N°: 4.2



# RIO ASHUQUEMA

## CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	29.00 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE.	12.50 Km.
H.máx	1051.00 m.s.n.m.
H.mín.	180.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	27.00 Km
Ft	0.19
Fc	1.40
EXT. SUP.	1.16
S	16.2 %
L	10.82
I	2.68
I : L	1 : 4

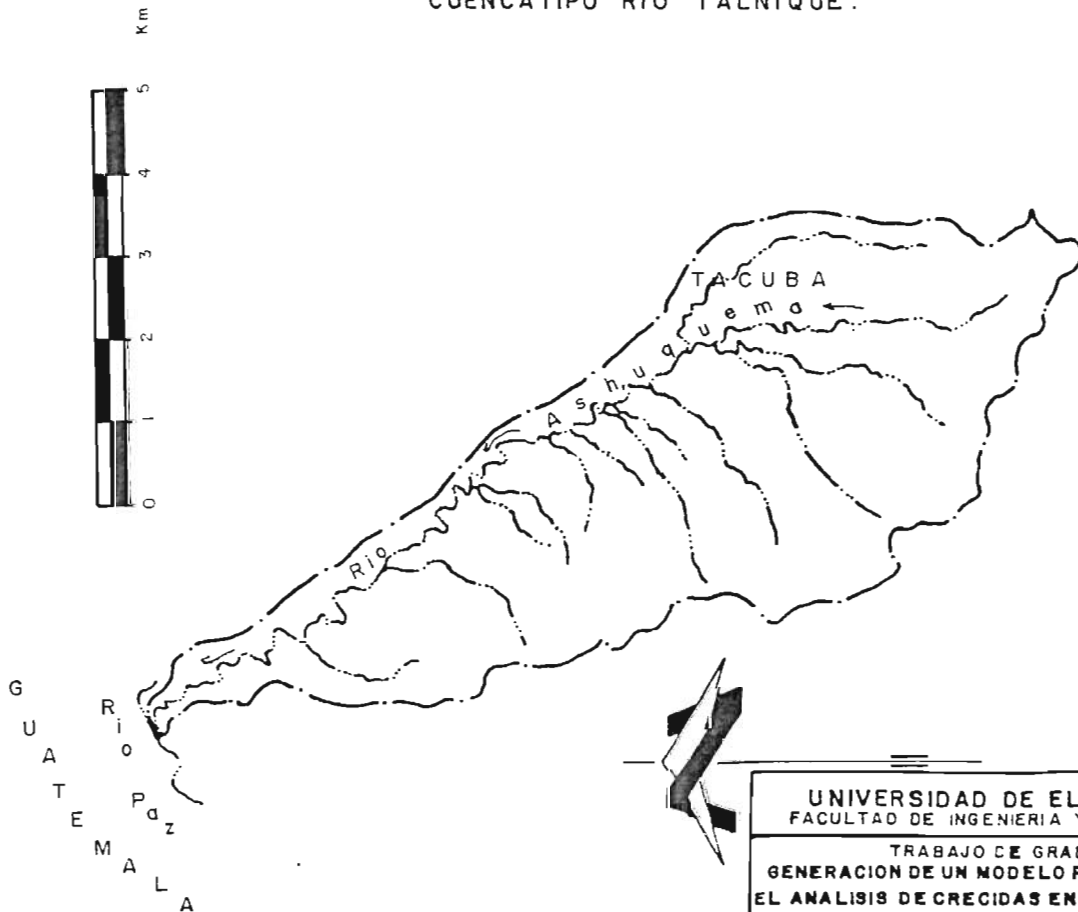


RECTANGULO EQUIVALENTE

## SIMBOLOGIA :

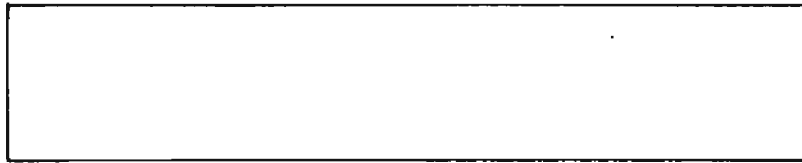
- · — LIMITE DE CUENCA
- · · — CAUCE DE RIO
- ▨ CIUDAD, PUEBLO
- CARRETERA

CUENCATIPO RIO TALNIQUE.

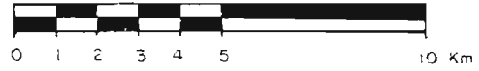


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO ASHUQUEMA.		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. Nº: 4 3

RECTANGULO EQUIVALENTE :  
L = 19.43



l = 3.67



## RIO TAMULASCO

### CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	71.24 Km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	16.85 Km
H. máx.	1643.48 m.s.n.m
H. mín.	425.97 m.s.n.m.
PERIMETRO	46.20 Km.
Ft	0.25
Fc	1.53
Ext. SUP.	2.11
S	14.40 %
L	19.43
l	3.67
l:L	1:5

### SIMBOLOGIA :

- · — LIMITE DE CUENCA .
- · · — CAUCE DE RIO .
- CIUDAD, PUEBLO .
- — — CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO

TALNIQUE .

CHALATENANGO

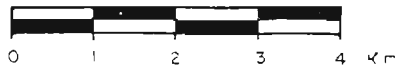


Rio Tamulasco

LA SIERPE

SAN MIGUEL DE MERCEDES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO TAMULASCO .		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. N°: 4.4



RECTANGULO EQUIVALENTE

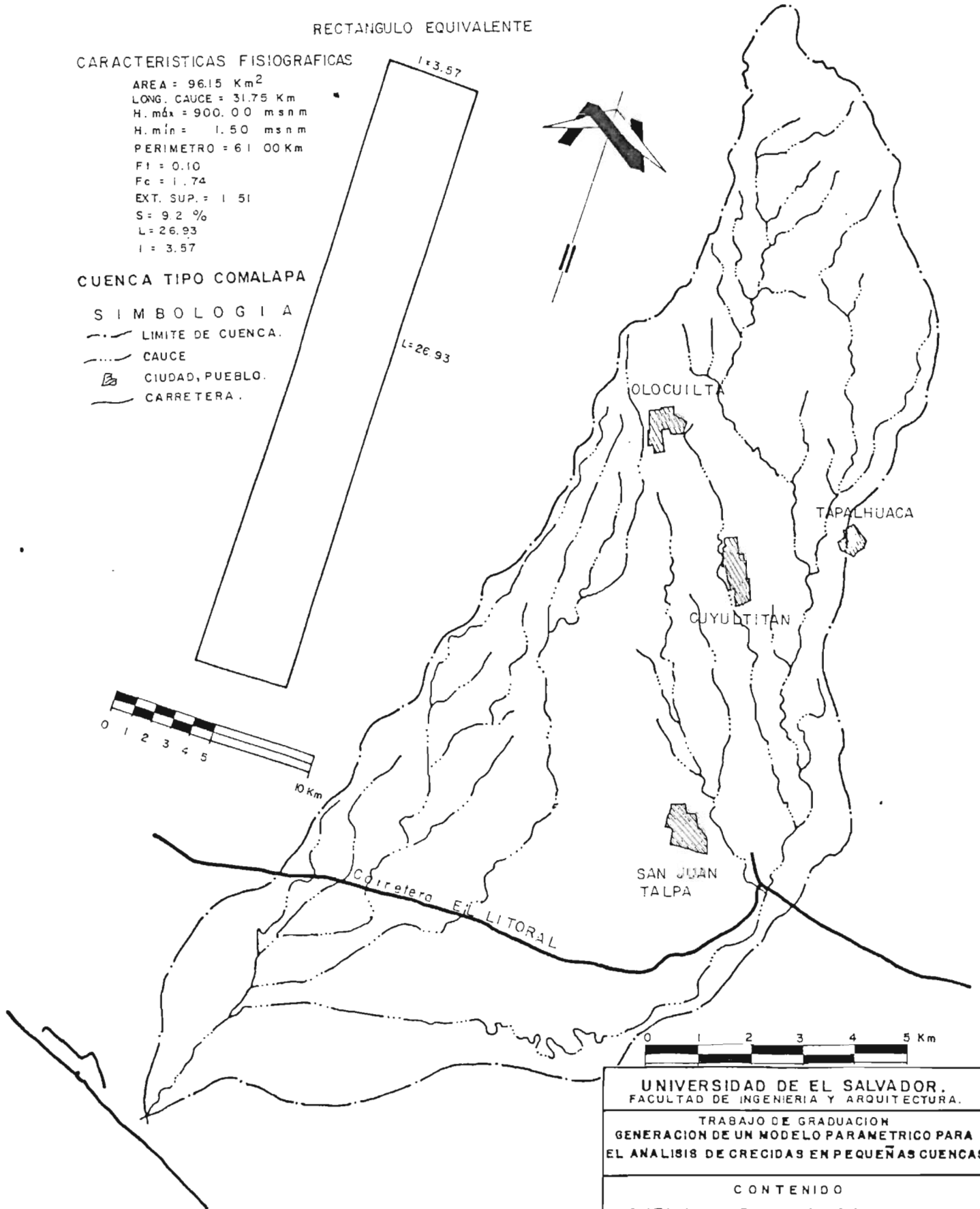
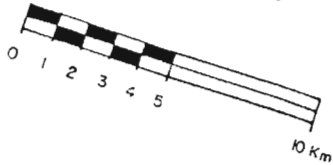
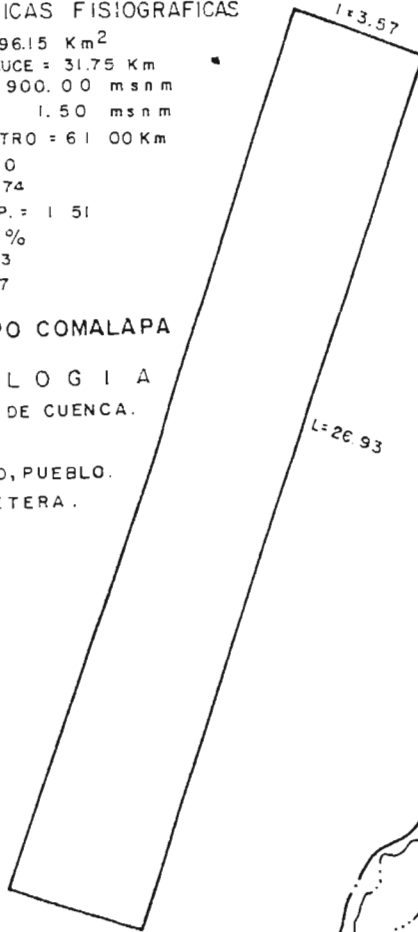
CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA = 96.15 Km<sup>2</sup>  
 LONG. CAUCE = 31.75 Km  
 H. máx = 900.00 msnm  
 H. mín = 1.50 msnm  
 PERIMETRO = 61.00 Km  
 F1 = 0.10  
 Fc = 1.74  
 EXT. SUP. = 1.51  
 S = 9.2 %  
 L = 26.93  
 I = 3.57

CUENCA TIPO COMALAPA

SIMBOLOGIA

- LIMITE DE CUENCA.
- CAUCE
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO COMALAPA.		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. N°: 4.5

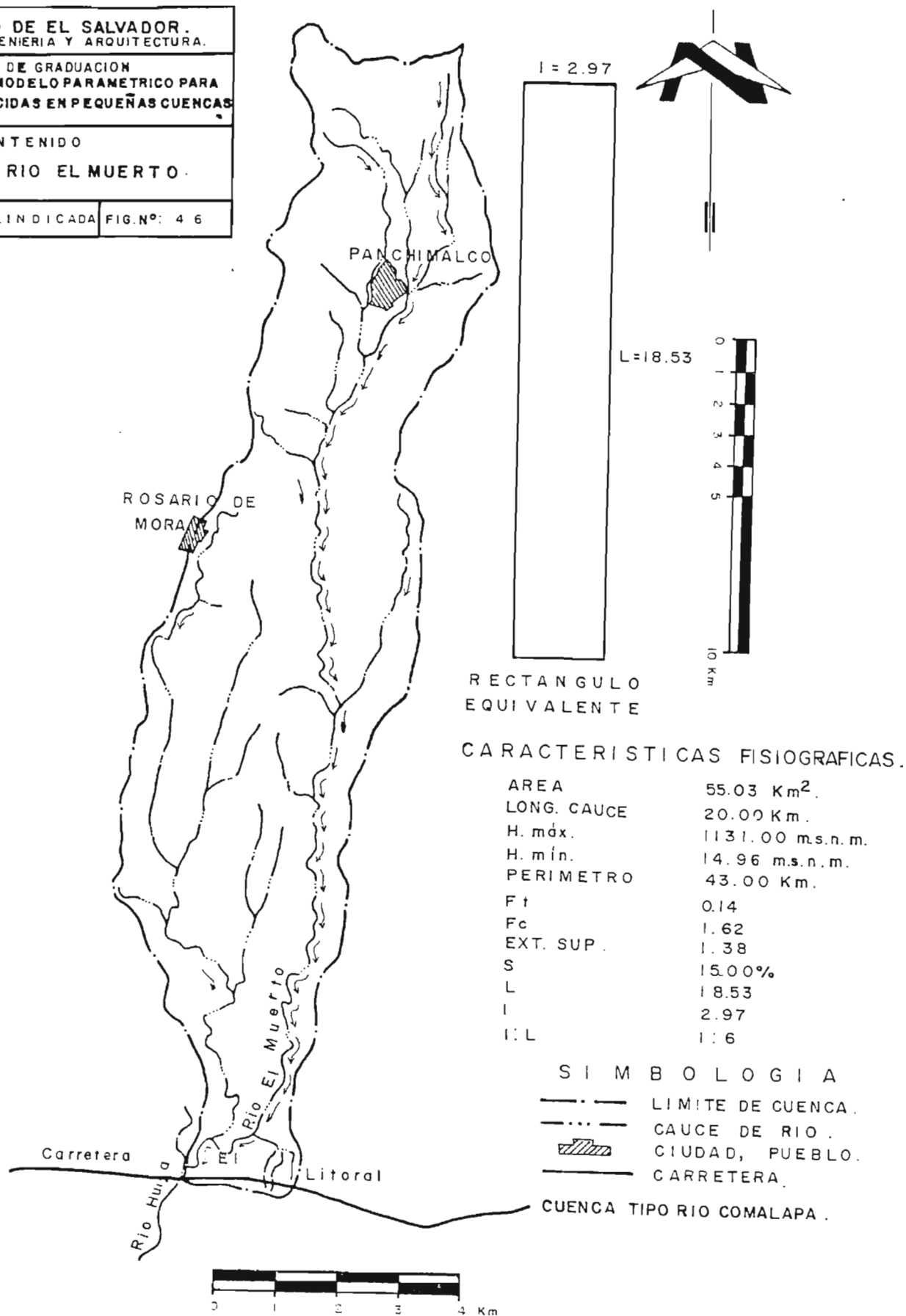
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.

TRABAJO DE GRADUACION  
GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA  
ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS

CONTENIDO

CUENCA DEL RIO EL MUERTO.

CHA: ENE./89 ESC. INDICADA FIG. Nº: 4 6



RECTANGULO  
EQUIVALENTE

### CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS.

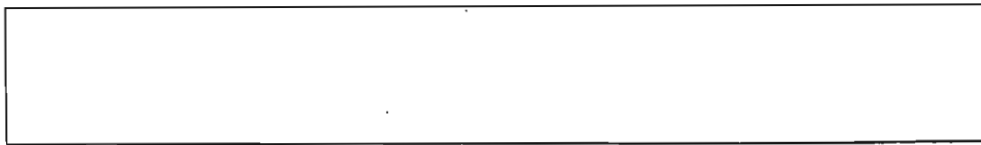
AREA	55.03 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	20.00 Km.
H. máx.	1131.00 m.s.n.m.
H. mín.	14.96 m.s.n.m.
PERIMETRO	43.00 Km.
Ft	0.14
Fc	1.62
EXT. SUP.	1.38
S	15.00%
L	18.53
I	2.97
I:L	1:6

### SIMBOLOGIA

- · — · LIMITE DE CUENCA.
- · — · CAUCE DE RIO.
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA.

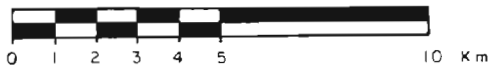
CUENCA TIPO RIO COMALAPA.





1 = 3.27

RECTANGULO EQUIVALENTE



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS.

AREA	77.68 Km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	30.00 Km.
H. máx	1300 m.s.n. m.
H. mín.	4.00 m.s.n. m.
PERIMETRO	54.00 Km.
Ft	0.09
Fc	1.72
EXT. SUP.	1.29
S	14.70 %
L	23.73
I	3.27
I : L	1 : 7

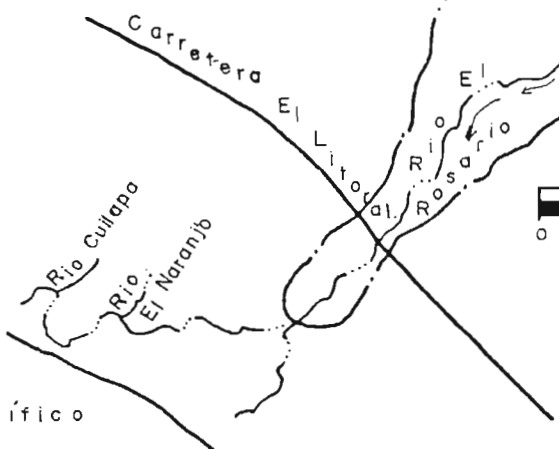
SAN JOSE  
EL NARANJO

JUJUTLA

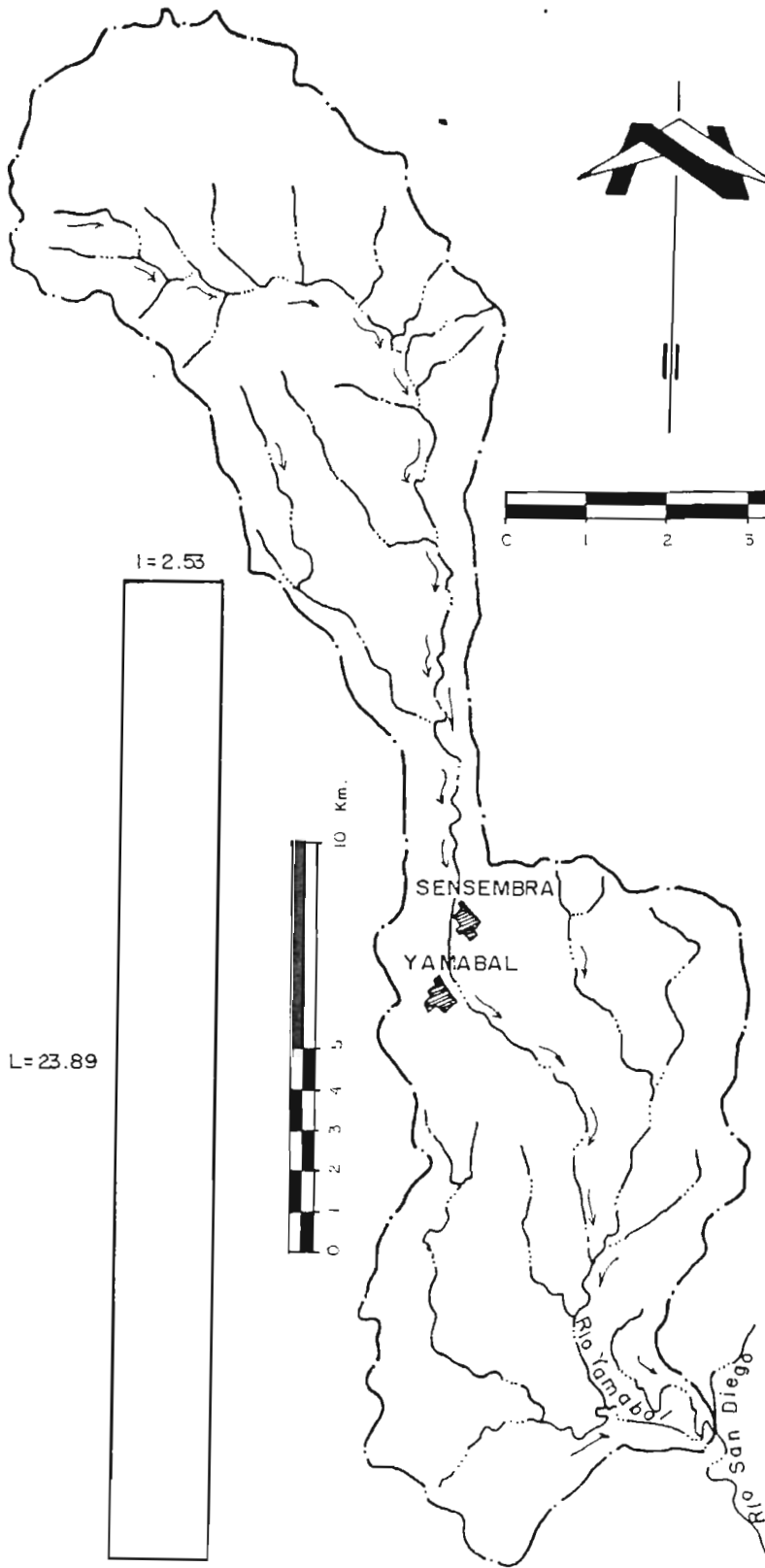
SIMBOLOGIA

- · — LIMITE CUENCA
- · · — CAUCE DE RIO
- ▨ CIUDAD, PUEBLO
- CARRETERA

CUENCA TIPO RIO COMALAPA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO		
CUENCA DEL RIO EL ROSARIO		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. Nº 47



SAN FRANCISCO  
GOTERA

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS.

AREA	60.54 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	23.50 Km.
H. máx.	1663.00 msnm
H. mín.	155.00 msnm
PERIMETRO	52.85 Km.
Ft	0.11
Fc	1.90
EXT. SUP.	1.29
S	19.40 %
L	23.89
l	2.53
l : L	1 : 9

SIMBOLOGIA :

- LIMITE DE CUENCA.
- CAUCE DE RIO.
- CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO COMALAPA.





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO		
CUENCA DEL RIO YAMABAL.		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. N°: 4.8

RECTANGULO  
EQUIVALENTE

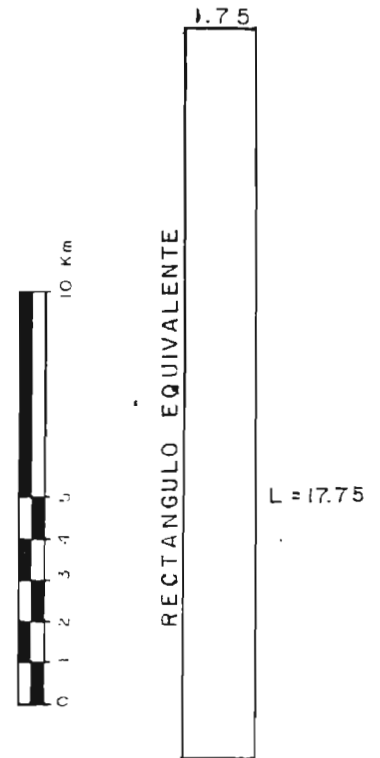
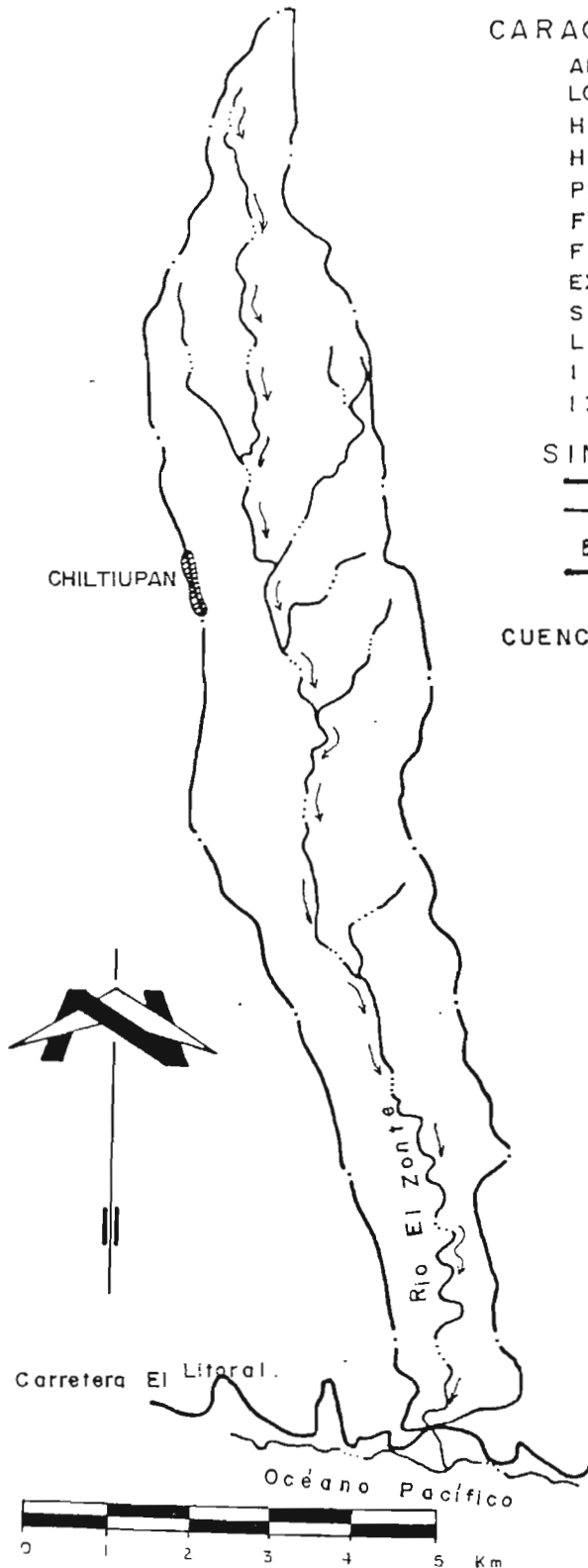
CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	31.06 Km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	19.90 Km .
H. máx.	1500.00 m.s.n.m.
H. mín.	16.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	39.00 Km .
Ft	0.08
Fc	1.96
EXT. SUP.	0.78
S	26.60 %
L	17.75
I	1.75
I : L	1 : 10

SIMBOLOGIA :

-  LIMITE DE CUENCA .
-  CAUCE DE RIO .
-  CIUDAD, PUEBLO .
-  CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO COMALAPA .



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO <b>CUENCA DEL RIO EL ZONTE .</b>		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA	FIG. N°: 4.9

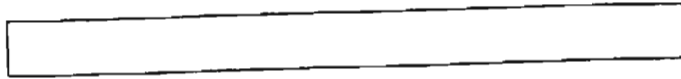
otros, la cuenca baja es más angosta que la cuenca alta, además se presentan situaciones en las que existe un estrechamiento en la cuenca media y ensanchamiento en la cuenca alta y baja; a medida que la relación  $l:L$  aumenta, tienden a mantener constante su anchura. Su coeficiente de compacidad varía de 1.55 a 2.0 y poseen alta densidad de drenaje.

Las cuencas en las que la relación  $l:L$  oscila entre 1:11 a 1:14, pueden ser representadas por la forma que adopta la cuenca del río El Jute, el cual pertenece a los municipios de Nueva San Salvador, Zaragoza y La Libertad en el departamento de La Libertad, nace en el Cantón Ayagualo, 5 km. al sur de la ciudad de Nueva San Salvador, realizando su recorrido de norte a sur y desemboca en el Océano Pacífico (Ver figura 4.10).

En las figuras 4.11 y 4.12, se muestran las cuencas de los ríos Chilanguera y El Naranjo que son característicos de este grupo. La forma de éstas, continúan presentando cierto estrechamiento en la zona media, pero el ensanchamiento en la zona alta y baja, es mucho menor que en el caso anterior y en ocasiones, la cuenca alta tiende a ser más angosta que la cuenca baja. El coeficiente de compacidad adopta valores que oscilan entre 2.0 y 2.25, su densidad de drenaje puede considerarse como moderada.

RECTANGULO EQUIVALENTE

L = 16.44



I = 1.28



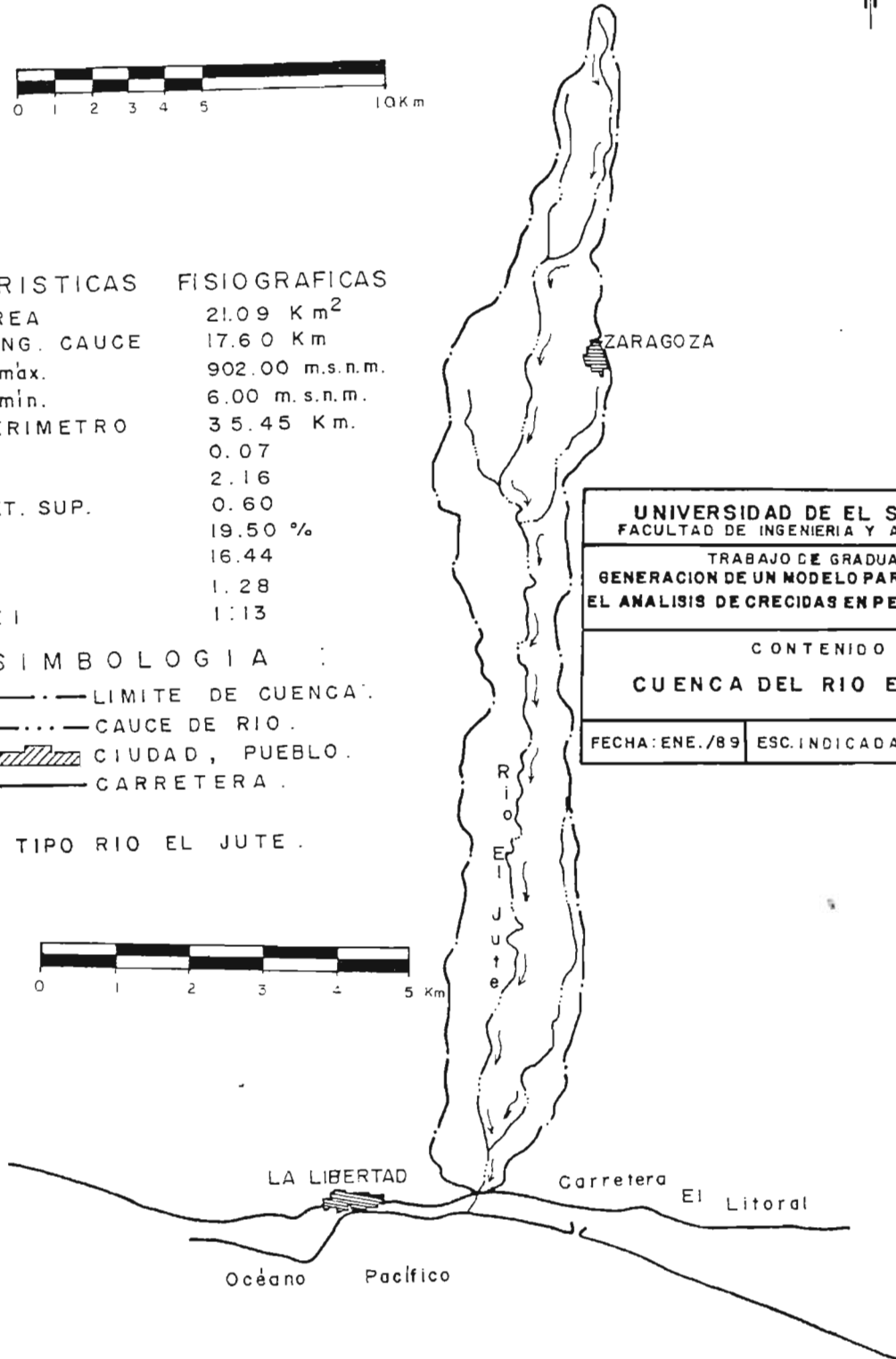
CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	21.09 Km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	17.60 Km
H. máx.	902.00 m.s.n.m.
H. mín.	6.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	35.45 Km.
Ft	0.07
Fc	2.16
EXT. SUP.	0.60
S	19.50 %
L	16.44
I	1.28
L:I	1:13

SIMBOLOGIA :

- · — LIMITE DE CUENCA.
- · · — CAUCE DE RIO.
- CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA.

CUENCA TIPO RIO EL JUTE.




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO  CUENCA DEL RIO EL JUTE.		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. Nº: 4.10

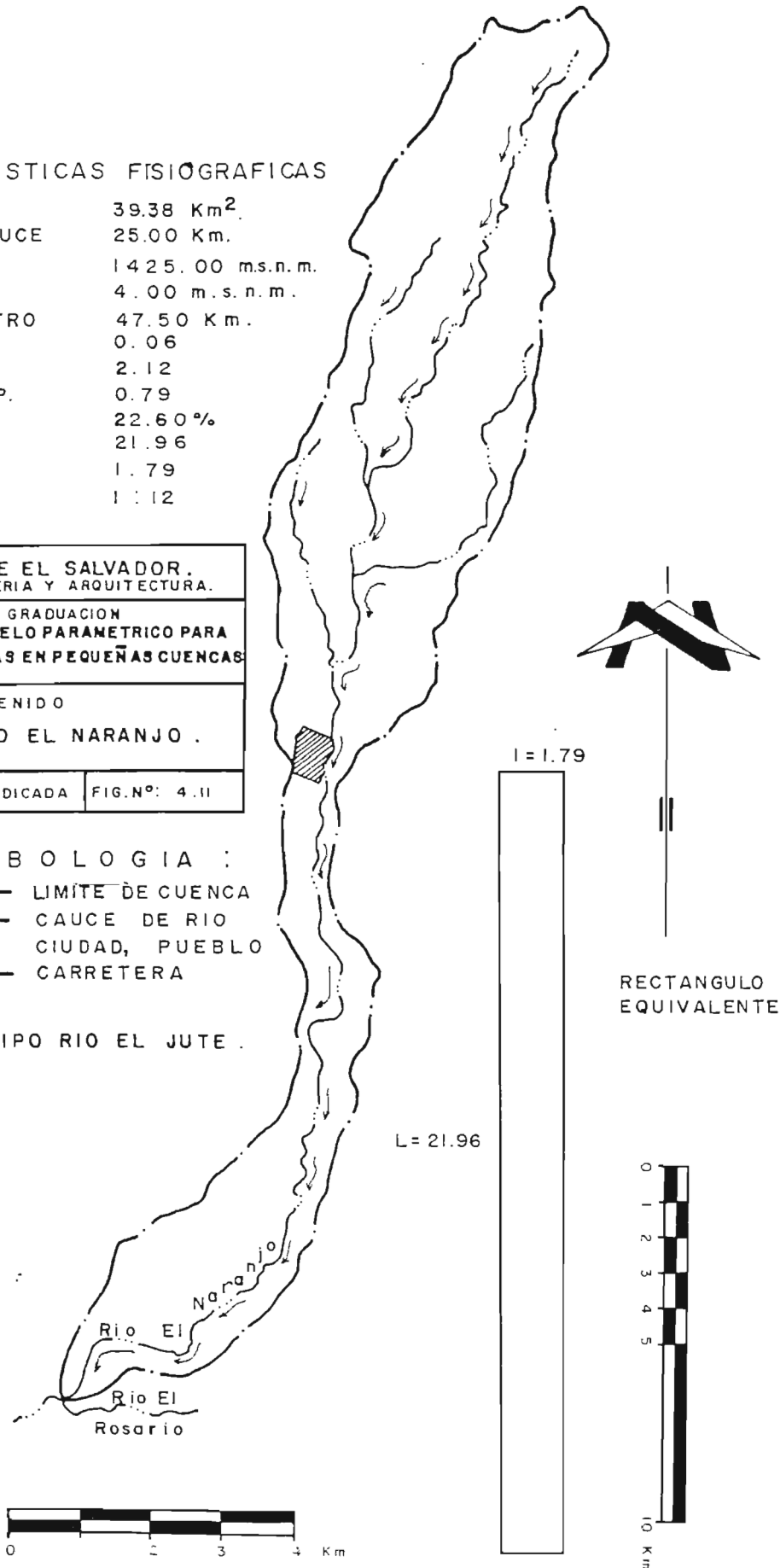
**CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS**

AREA	39.38 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	25.00 Km.
H.mdx.	1425.00 ms.n.m.
H.min.	4.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	47.50 Km.
Ft	0.06
Fc	2.12
EXT. SUP.	0.79
S	22.60%
L	21.96
I	1.79
I : L	1 : 12

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO EL NARANJO .		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG.Nº: 4.II

- SIMBOLOGIA :**
- · — · — · LIMITE DE CUENCA
  - · · · — · · · CAUCE DE RIO
  -  CIUDAD, PUEBLO
  - — — — — CARRETERA

CUENCA TIPO RIO EL JUTE .

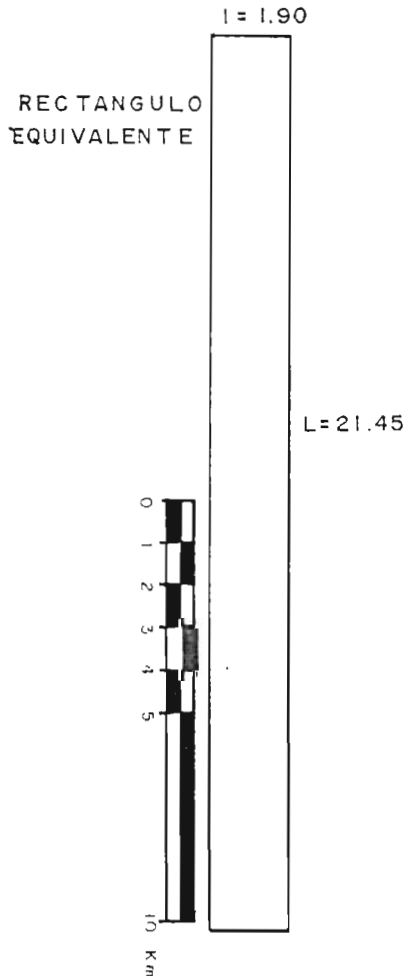


RECTANGULO EQUIVALENTE





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO CHILANGUERA .		
FECHA: ENE. /89	ESC. INDICADA .	FIG. N° 4 12



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	40.81 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	21.65 Km .
H. máx.	882.95 m. s. n. m.
H. mín.	27.00 m. s. n. m.
PERIMETRO	46.70 Km.
Ft	0.09
Fc	2.05
EXT. SUP.	0.94
S	13.40 %
L	21.45
I	1.90
I : L	1 : 11

SIMBOLOGIA :

- LIMITE CUENCA .
- CAUCE DE RIO .
- ▨ CIUDAD, PUEBLO .
- CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO EL JUTE .

El río San Antonio, es característico de las cuencas cuya relación  $L:l$  va de 1:15 a 1:25, pertenece a los municipios de Nuevo Cuscatlán, Zaragoza, San José Villanueva y La Libertad en el departamento de La Libertad, nace junto al Pueblo de Nuevo Cuscatlán, su recorrido lo realiza de norte a sur y desemboca en el Océano Pacífico (Ver fig. 4.13).

Este grupo, está conformado por cuencas muy alargadas y cuencas en las que la zona alta es más alargada que la zona baja e intermedia, algunas de ellas, presentan estrechamientos pero para que la cabecera se ensanche, necesita una longitud considerable y en la mayoría de casos, el ensanchamiento de la zona alta no alcanza valores considerables.

Su densidad de drenaje es muy baja y el coeficiente de capacidad oscila entre 2.5 y 3.0.

Como ejemplo de este tipo de cuenca, pueden citarse las de los ríos: Aguachapío, Izcanal, Copinula, Cauta y La Quebrada Tierra Blanca (Ver fig. 4.14 a 4.18).

#### 4.3 Establecimiento de Relaciones entre Parámetros Involucrados en la Generación del Modelo

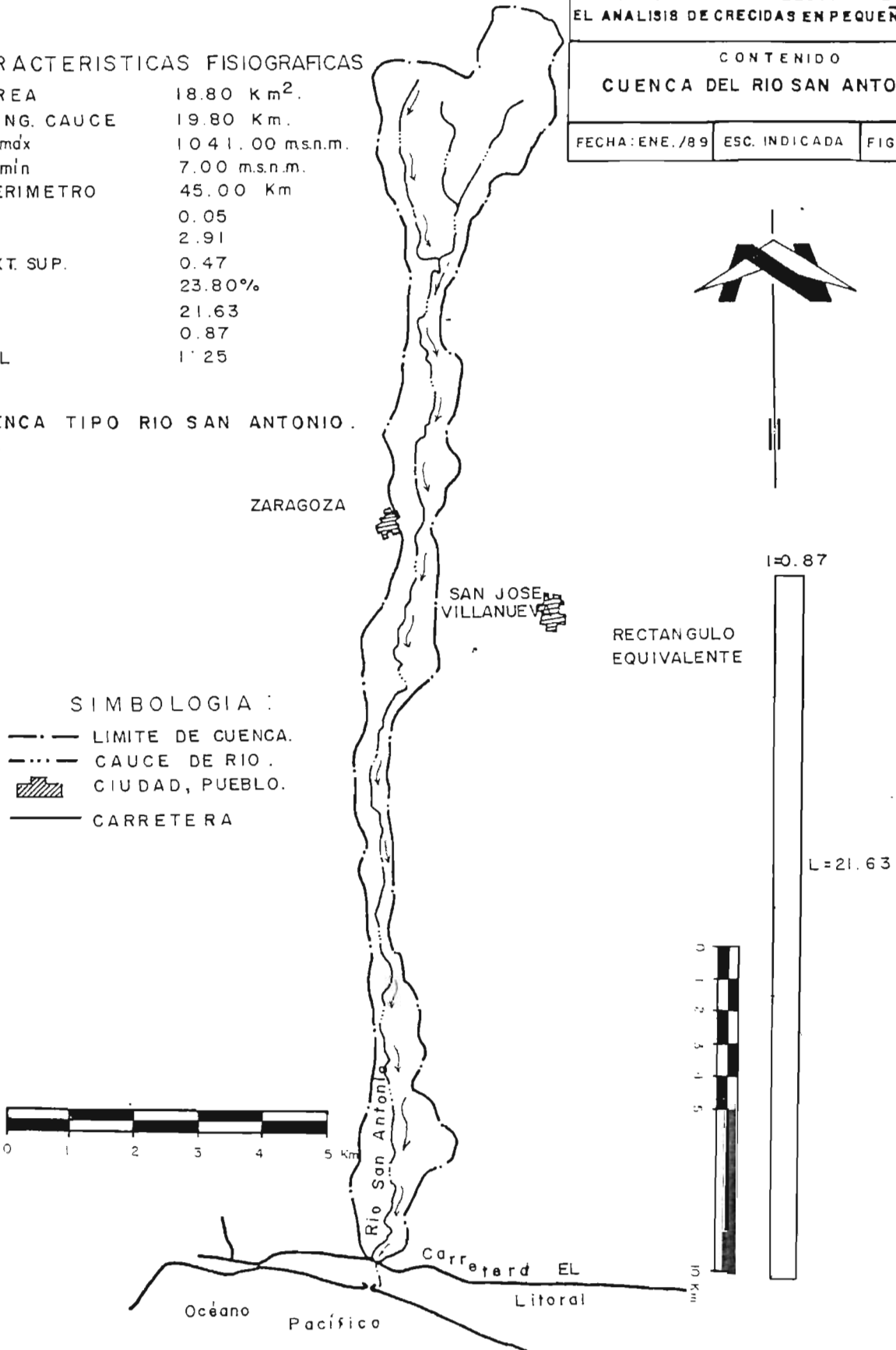
Para la estimación de caudales de crecidas mediante la aplicación del Hidrograma Triangular, es necesario efectuar una

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO SAN ANTONIO (L.L.)		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. N° 4 13

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

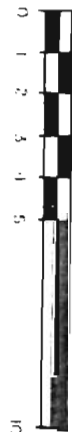
AREA	18.80 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	19.80 Km.
H. máx	1041.00 m.s.n.m.
H. mín	7.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	45.00 Km
Ft	0.05
Fc	2.91
EXT. SUP.	0.47
S	23.80%
L	21.63
I	0.87
I:L	1:25

CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO.



SIMBOLOGIA :

- · — LIMITE DE CUENCA.
- · · — CAUCE DE RIO.
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA



I=0.87

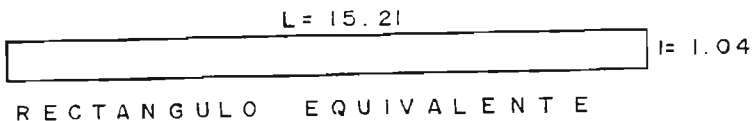
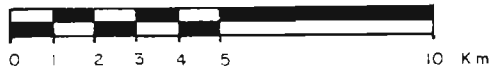
RECTANGULO EQUIVALENTE

L=21.63

Océano Pacífico

Carr. El Litoral

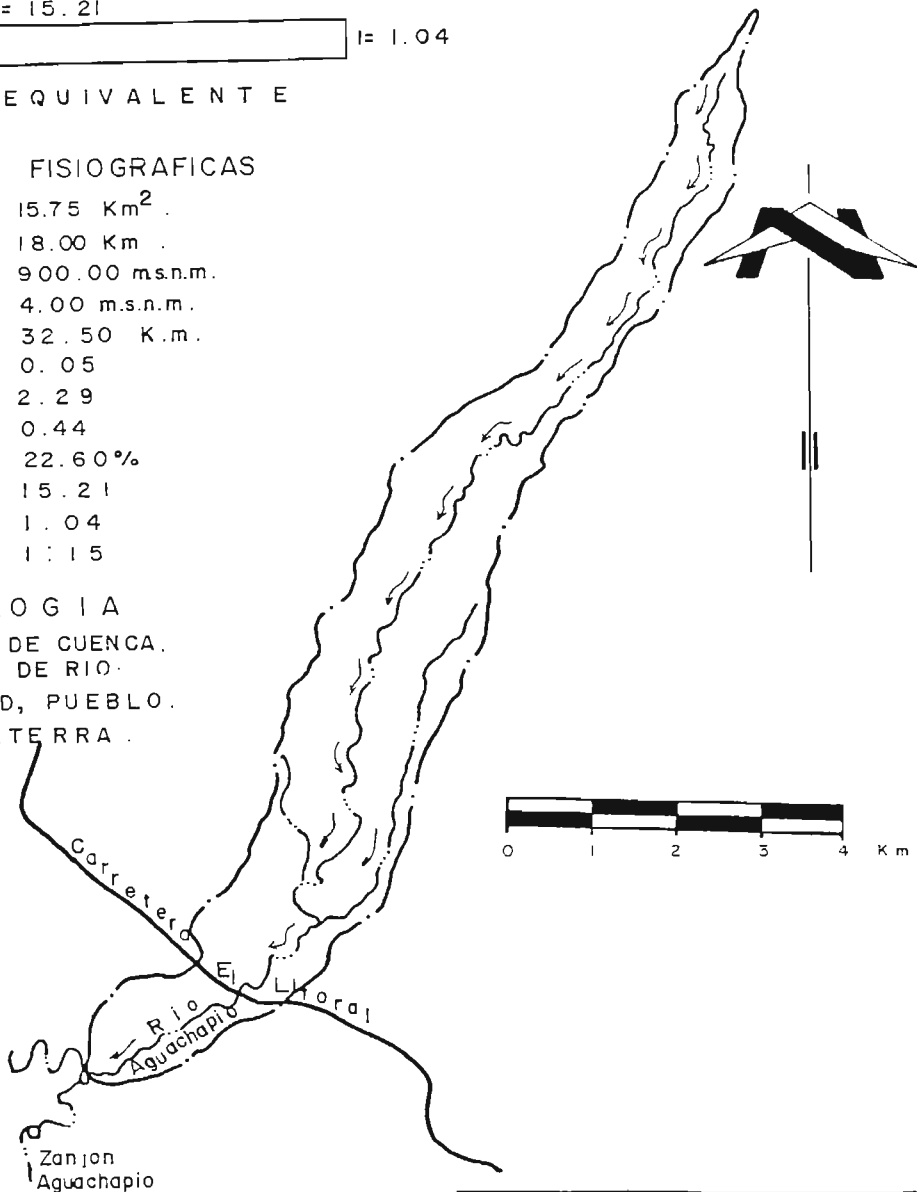
10 Km



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	15.75 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	18.00 Km .
H.máx.	900.00 m.s.n.m.
H.min.	4.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	32.50 K.m.
Ft	0.05
Fc	2.29
EXT. SUP.	0.44
S	22.60%
L	15.21
I	1.04
I:L	1:15

- SIMBOLOGIA
- · — LIMITE DE CUENCA.
  - · — CAUCE DE RIO.
  - ▨ CIUDAD, PUEBLO.
  - CARRETERA .



CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO AGUACHAPIO		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. N°: 4.14

$I = 0.89$



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

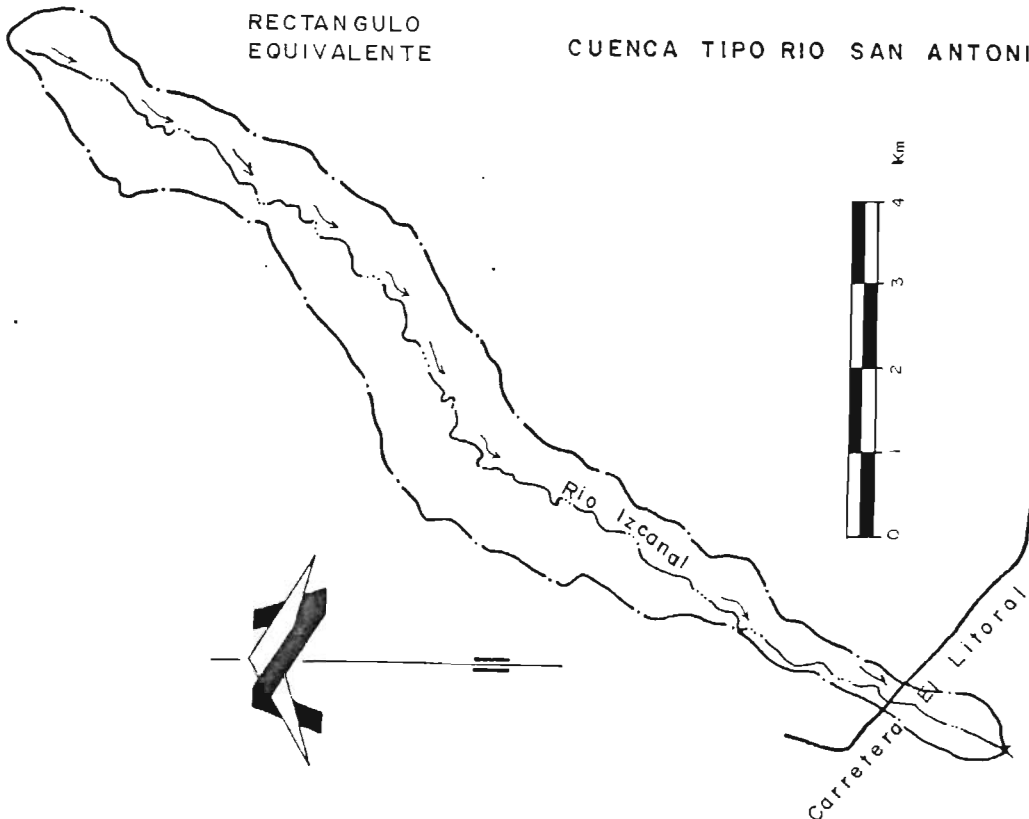
AREA	13.48 km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	16.50 Km
H. máx.	1060.00 m.s.n.m.
H mín.	3.0 m.s.n.m
PERIMETRO	32.00 Km.
Ft	0.05
Fc	2.44
EXT. SUP.	0.41
S	28.80 %
L	15.11
I	0.89
I : L	1 : 17

SIMBOLOGIA :

- · — LIMITE DE CUENCA .
- · - · - CAUCE DE RIO .
- ▨ CIUDAD, PUEBLO .
- CARRETERA .

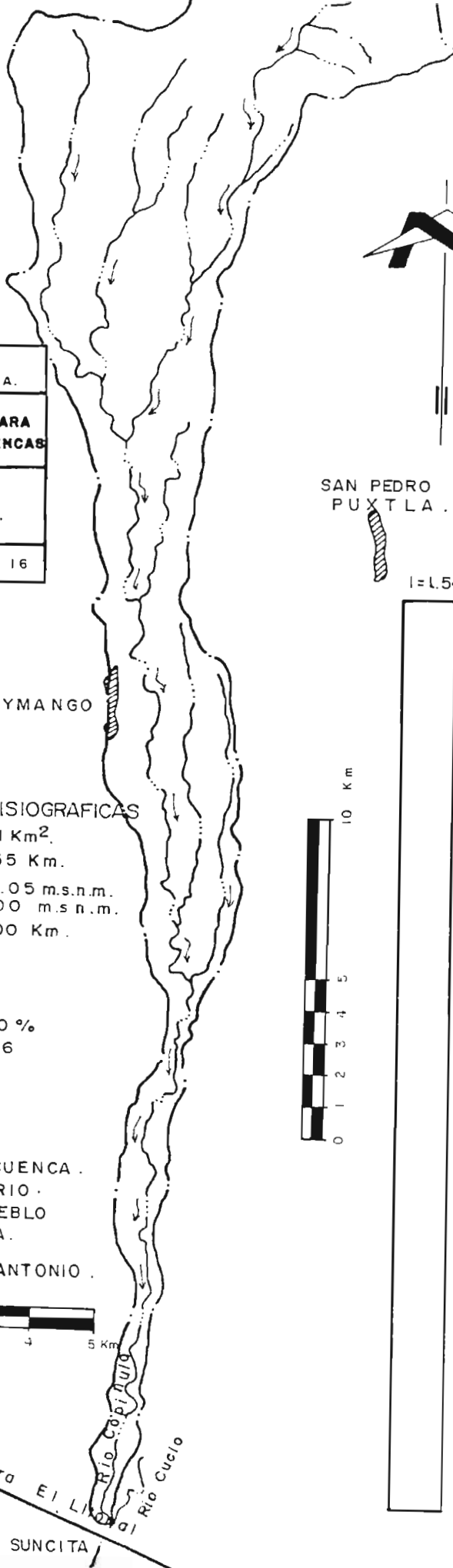
RECTANGULO EQUIVALENTE

CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO .



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO IZCANAL		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. Nº: 4.15

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO COPINULA .		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. Nº: 4 16



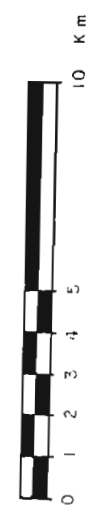
SAN PEDRO  
PUXTLA .

$I = 1.54$

RECTANGULO  
EQUIVALENTE

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	43.81 Km <sup>2</sup> .
LONG. CAUCE	29.55 Km.
H. máx.	1816.05 m.s.n.m.
H. mín.	20.00 m.s.n.m.
PERIMETRO	60.00 Km.
F <sub>t</sub>	0.05
F <sub>c</sub>	2.54
EXT. SUP.	0.74
S	27.10 %
L	28.46
I	1.54
I : L	1 : 25



$L = 28.46$

SIMBOLOGIA

- · — LIMITE DE CUENCA .
- · · — CAUCE DE RIO .
- ▨ CIUDAD, PUEBLO
- CARRETERA .

CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO .



Carretera El Litoral  
Río Copinula  
Río Cuculo  
Río Suncita

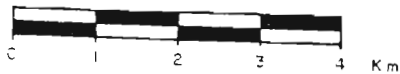
CARACTERISTICAS FISIGRAFICAS

AREA 31.11 Km<sup>2</sup>,  
 LONG. CAUCE 27.00 Km.  
 H. máx. 1436.87 m.s.n.m.  
 H. mín. 65 m.s.n.m.  
 PERIMETRO 53.00 Km.  
 Ft 0.04  
 Fc 2.66  
 EXT. SUP. 0.58  
 S 25.60 %  
 L 25.27  
 I 1.23  
 I : L 1 : 21

CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO.

JUJUTLA

GUAYMANGO



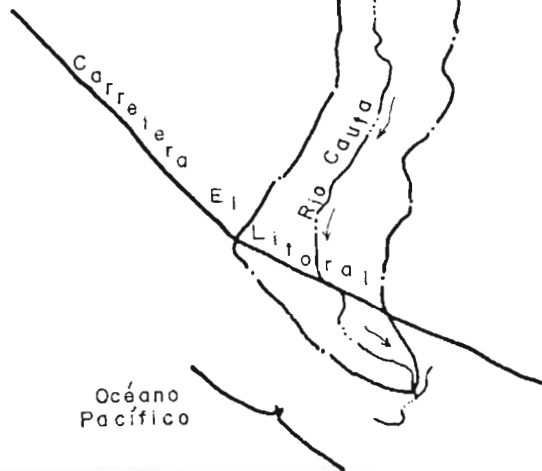
I = 1.23

L = 25.27

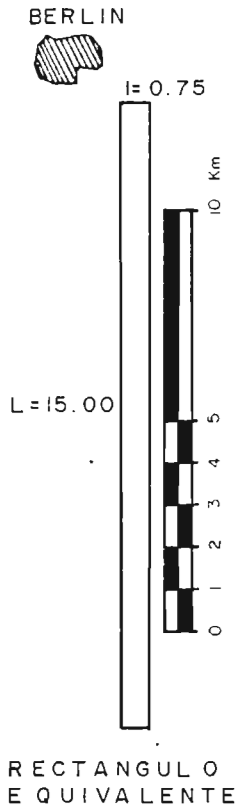
RECTANGULO EQUIVALENTE

SIMBOLOGIA :

- LIMITE DE CUENCA
- CAUCE DE RIO.
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- ▬ CARRETERA.



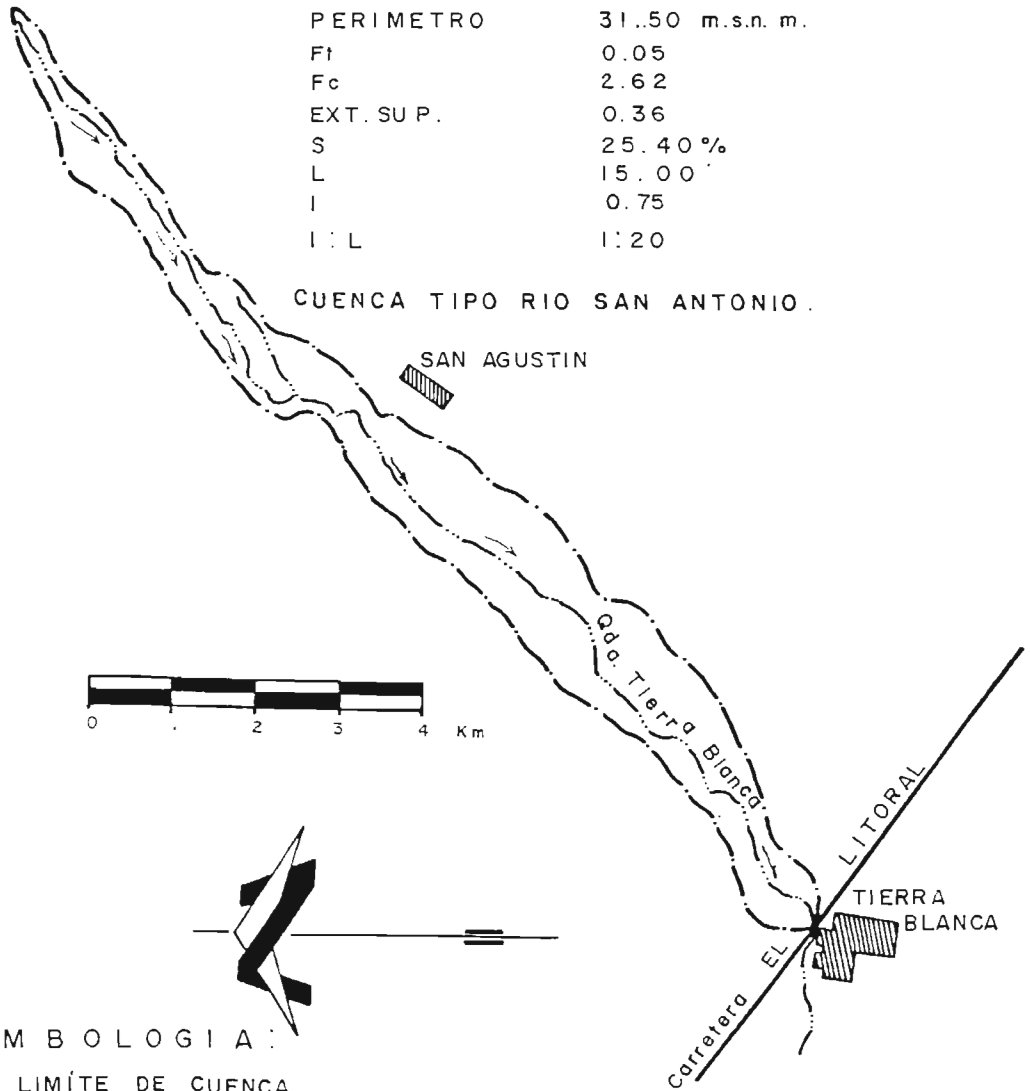
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DEL RIO CAUTA		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. Nº: 4.17



CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

AREA	11.30 Km <sup>2</sup>
LONG. CAUCE	15.75 Km.
H. máx.	920.00 m.s.n.m.
H. mín.	66.50 m.s.n.m.
PERIMETRO	31.50 m.s.n.m.
Ft	0.05
Fc	2.62
EXT. SUP.	0.36
S	25.40 %
L	15.00
I	0.75
I : L	1 : 20

CUENCA TIPO RIO SAN ANTONIO.



SIMBOLOGIA:

- · — LIMITE DE CUENCA
- · · — CAUCE DE RIO
- ▨ CIUDAD, PUEBLO.
- CARRETERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.		
TRABAJO DE GRADUACION GENERACION DE UN MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS		
CONTENIDO CUENCA DE LA QUEBRADA TIERRA BLANCA		
FECHA: ENE./89	ESC. INDICADA	FIG. N° 4.18

conjugación entre varios parámetros físicos de la cuenca en análisis y las características climatológicas de la zona.

Como la metodología a desarrollar, será presentada mediante un gráfico, se hace necesario establecer una serie de relaciones entre los parámetros influyentes en la cuantificación del fenómeno, de tal manera que los resultados de cada relación se vayan complementando hasta obtener el caudal producido por un evento meteorológico extremo, el cual posee una duración y período de retorno determinados.

Como se expuso anteriormente, uno de los parámetros de mayor incidencia en las crecidas, es el tiempo de concentración que es influenciado por la forma de la cuenca; éste puede ser calculado mediante la expresión:

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

Donde: A = Area de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L<sub>c</sub> = Longitud del cauce más largo (km)

H<sub>m</sub> =  $\frac{H_{max} + H_{min}}{2}$  (mt) Elevación Media

t<sub>c</sub> = Tiempo de concentración (horas)

Esta ecuación, es una adaptación de la expresión generada por Giandotti, a las condiciones imperantes en el país.

Con el objeto de establecer una mayor interrelación entre los parámetros más representativos de cada tipo de cuenca (tipificación en base a su forma), se han desarrollado análisis de correlación lineal entre los parámetros de cada grupo de cuencas (Cuadro 4.2); de este estudio, pudo determinarse que el área, la longitud del cauce más largo y el tiempo de concentración, poseen una correlación alta al combinarlos uno a uno; pero al combinar estos mismos parámetros para toda la muestra (98 cuencas) la correlación baja en grandes proporciones. Esto conlleva a la determinación del tiempo de concentración como una función del área de la cuenca, la longitud del cauce más largo, para cada tipo de cuenca.

Las expresiones generadas del  $t_c = f(A, L_c)$ , han sido obtenidas mediante la aplicación de análisis de correlación múltiple, la cual relaciona las tres variables a la vez. Los resultados obtenidos, se presentan en el cuadro 4.7 y pueden ser considerados como satisfactorios dado que los coeficientes de correlación múltiple, están incluidos dentro de los rangos de aceptación.

Cuadro 4.7

Tiempo de Concentración como una Función de A y Lc

TIPO DE CUENCA	ECUACION
Río Talnique	$tc = 22.1366 + 0.0773A + 3.3469L$
Río Comalapa	$tc = 16.0962 + 0.1737A + 4.1313L$
Río El Jute	$tc = -18.8754 - 4.2064A + 12.9333L$
Río San Antonio	$tc = -24.7623 - 2.4585A + 8.6187L$

Fuente: Elaboración propia.

Donde: A = Area de la cuenca en  $km^2$

L = Longitud del cauce más largo en kms.

tc= Tiempo de concentración en min.

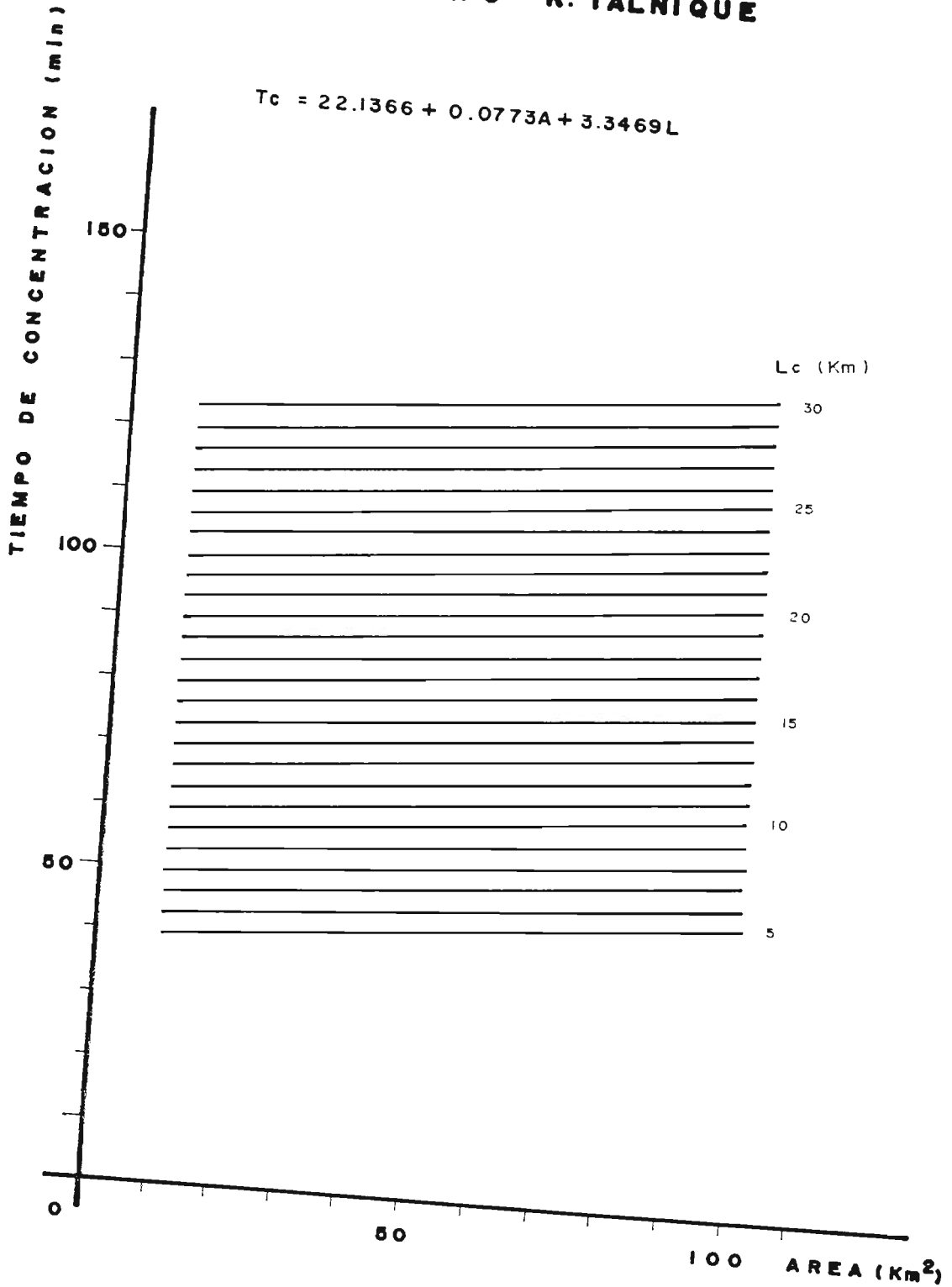
Si para presentar en forma gráfica estas expresiones, se le dan valores a L y se coloca en el eje de las abcisas el área y en el eje de las ordenadas el tiempo de concentración, se obtendrán familias de rectas como las mostradas en las figuras 4.19 a 4.22 las cuales corresponden a cada tipo de cuenca.

Como puede observarse de las ecuaciones y sus respectivas gráficas, el tiempo de concentración siempre aumenta en función de la longitud del cauce más largo, y en cuencas con relación l:L baja (tipo Talnique y Comlapa) el tiempo de concentración aumenta también términos del área; pero en cuencas con alta -

FIG. 4.19

# TIEMPO DE CONCENTRACION . CUENCAS TIPO R. TALNIQUE

$$T_c = 22.1366 + 0.0773A + 3.3469L$$



# TIEMPO DE CONCENTRACION . CUENCAS TIPO R. COMALAPA

FIG. 4. 20

$$T_c = 16.0962 + 0.1737A + 4.1313L$$

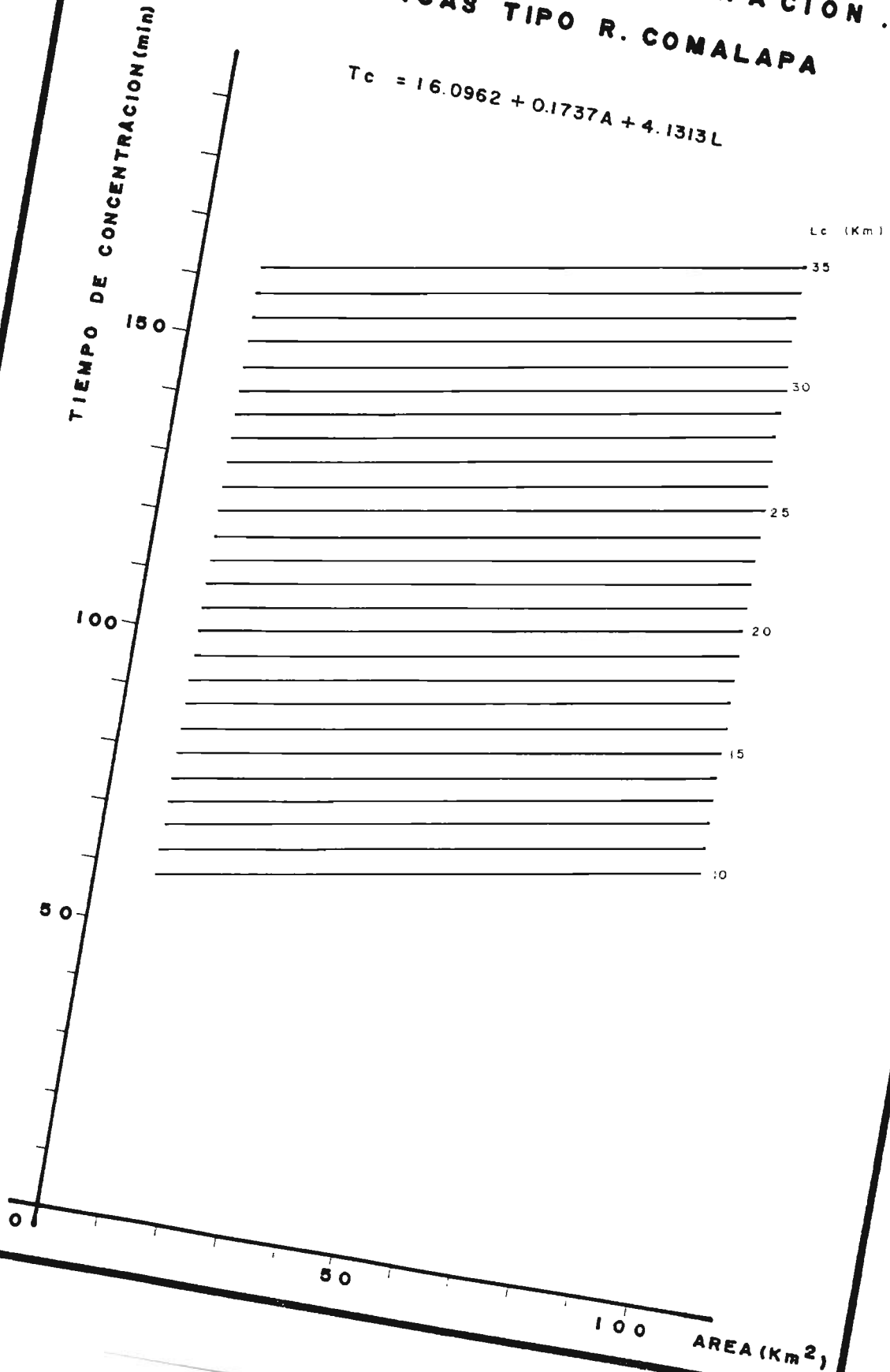


FIG. 4.21

**TIEMPO DE CONCENTRACION .**  
**CUENCAS TIPO R. EL JUTE**

$$T_c = -18.8754 - 4.2064A + 12.9333L$$

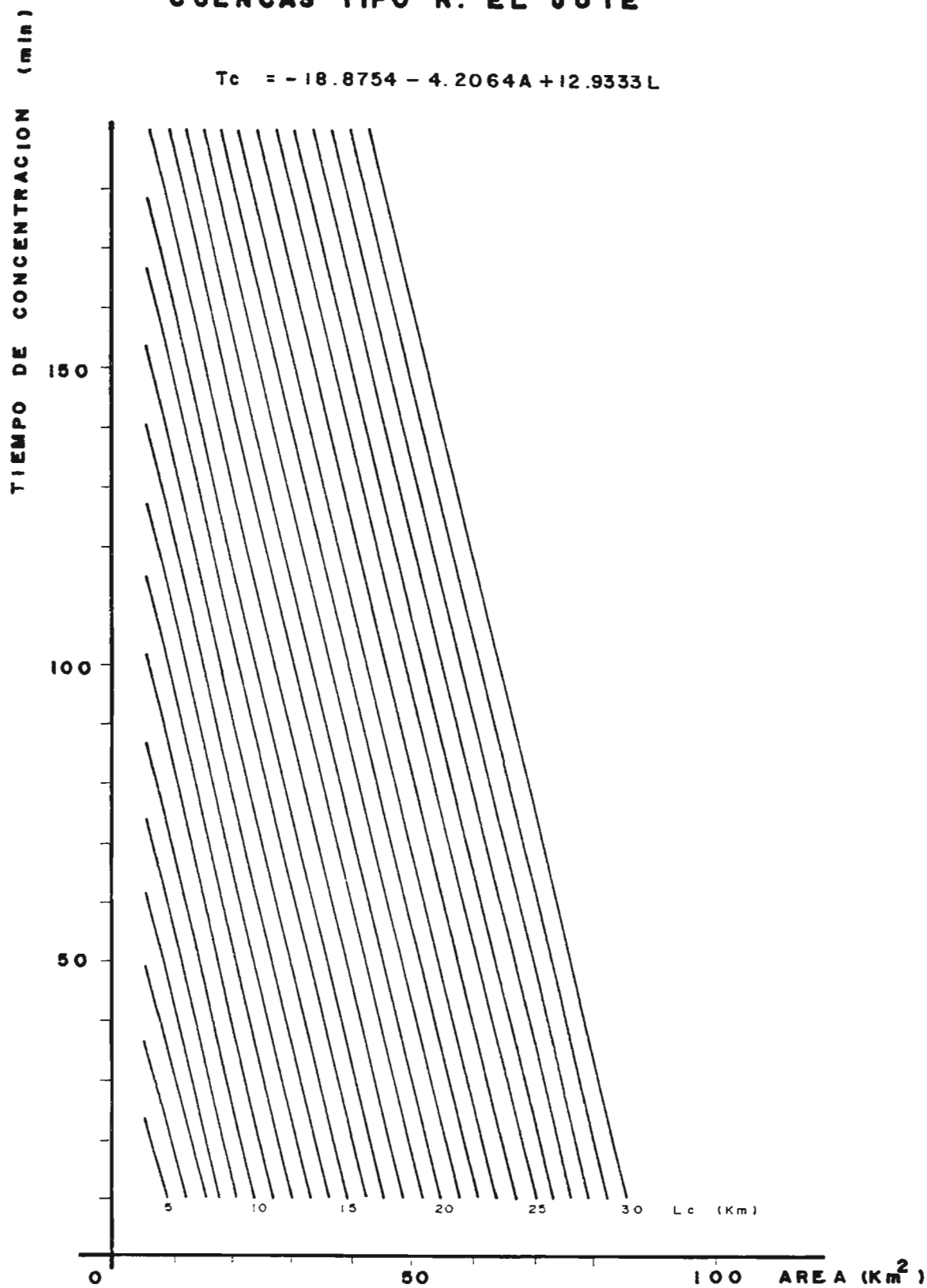
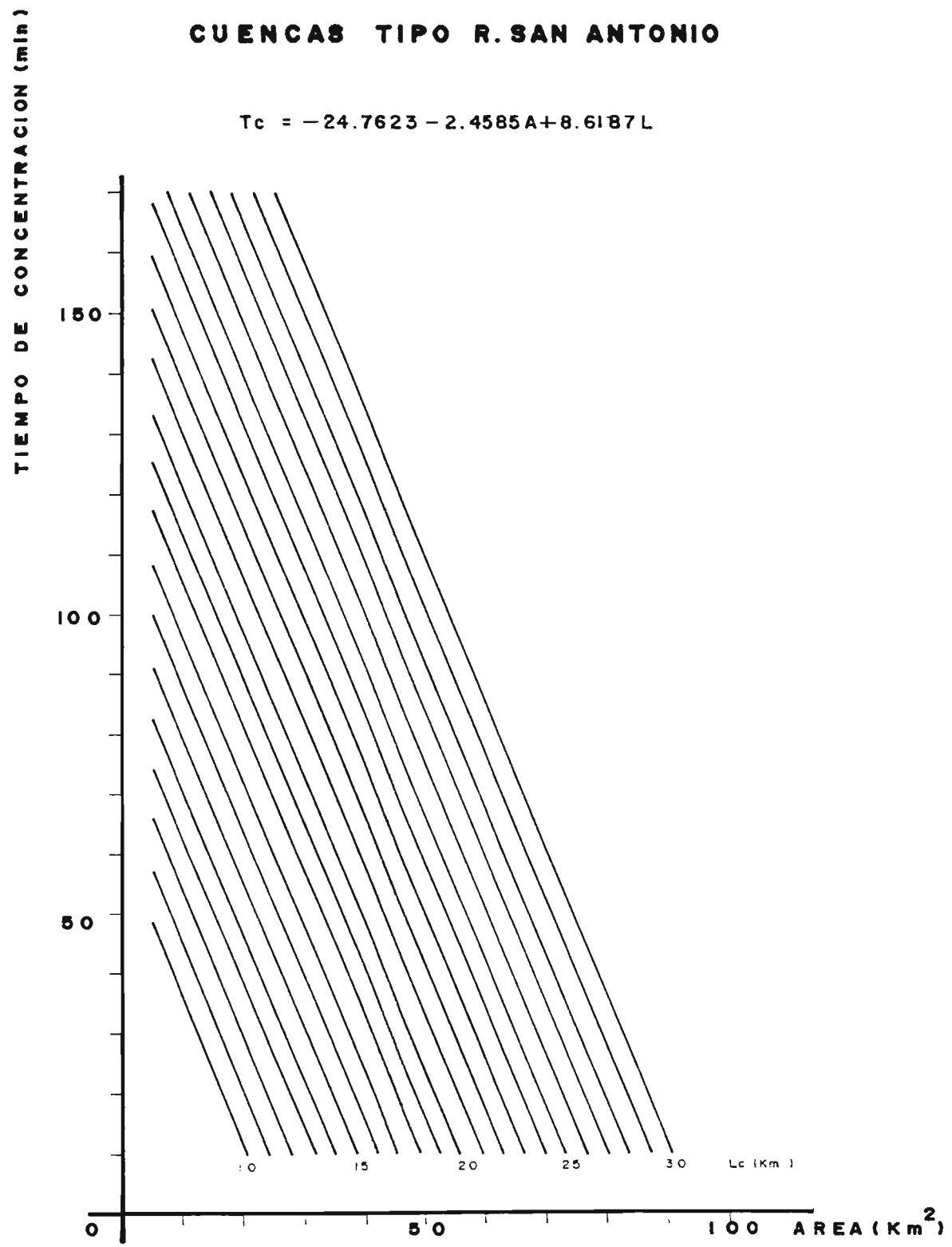


FIG. 4.22

# TIEMPO DE CONCENTRACION CUENCAS TIPO R. SAN ANTONIO

$$T_c = -24.7623 - 2.4585A + 8.6187L$$



relación  $1:L$  (tipo El Jute y San Antonio), el tiempo de concentración disminuye en función del área.

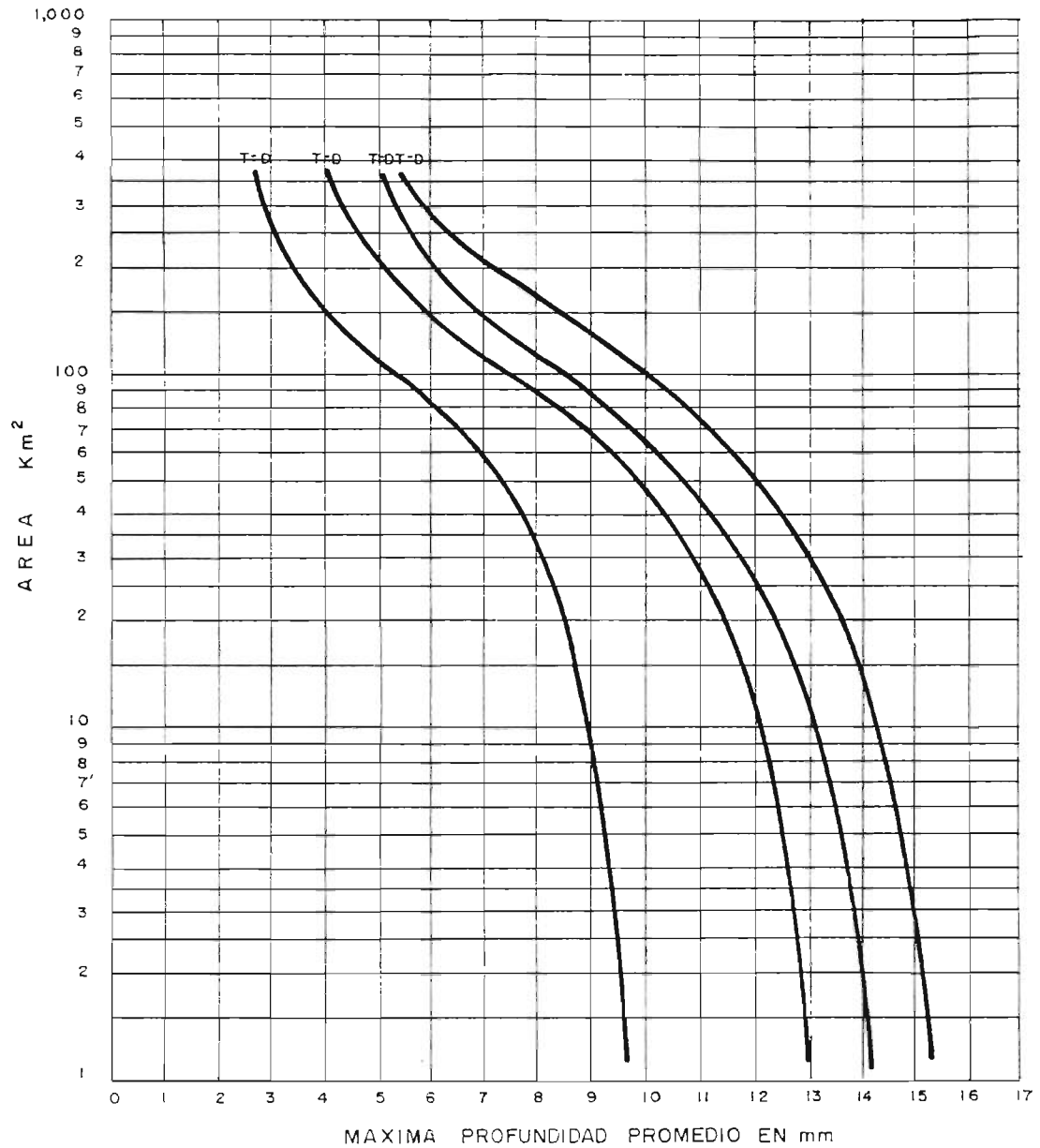
En base a esta forma de estimación del  $t_c$ , se está considerando la forma de la cuenca en la generación de crecidas máximas.

Otro parámetro de alta significación en la magnitud de las avenidas, lo constituye la caracterización y la cuantificación del fenómeno meteorológico que origina el escurrimiento superficial. Este aspecto, ha sido analizado en base a los mapas de Iso-Intensidades, ya que éstas involucran la duración de la tormenta, su intensidad y período de retorno; además, indican la distribución de las zonas de mayor intensidad.

En la fig. 4.23, se presenta un gráfico que interrelaciona la profundidad de precipitación, el área de distribución, la duración y el período de retorno de la lluvia. Este gráfico, permite establecer la magnitud de la lámina precipitada en términos de la duración, período de retorno y el área que cubre la lluvia.

Para el presente trabajo, las curvas Area-Profundidad de Precipitación, se han elaborado en base a los mapas de Isolíneas de Intensidades, dividiéndose el país en dos regiones, las cuales han sido establecidas en términos de cobertura registrada para el temporal ocurrido del 24 al 31 de agosto de 1988. El procedimiento empleado en este estudio, se expone en

## CURVAS AREA - PROFUNDIDAD - DURACION



el Anexo A y en el Anexo B se presenta el análisis de la lluvia seleccionada como patrón (agosto 88); además, se incluye la elaboración de las curvas Area-Profundidad de Precipitación-Duración para duraciones de 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, con períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

El caudal máximo, está íntimamente relacionado con el volumen de agua que puede escurrir en una cuenca, para un evento meteorológico determinado. Este volumen, puede ser calculado en términos de la relación existente entre el agua precipitada y el agua escurrida; a esta relación se le conoce como coeficiente de escorrentía, que depende del tipo de suelo, la cobertura del terreno y la pendiente media de la cuenca.

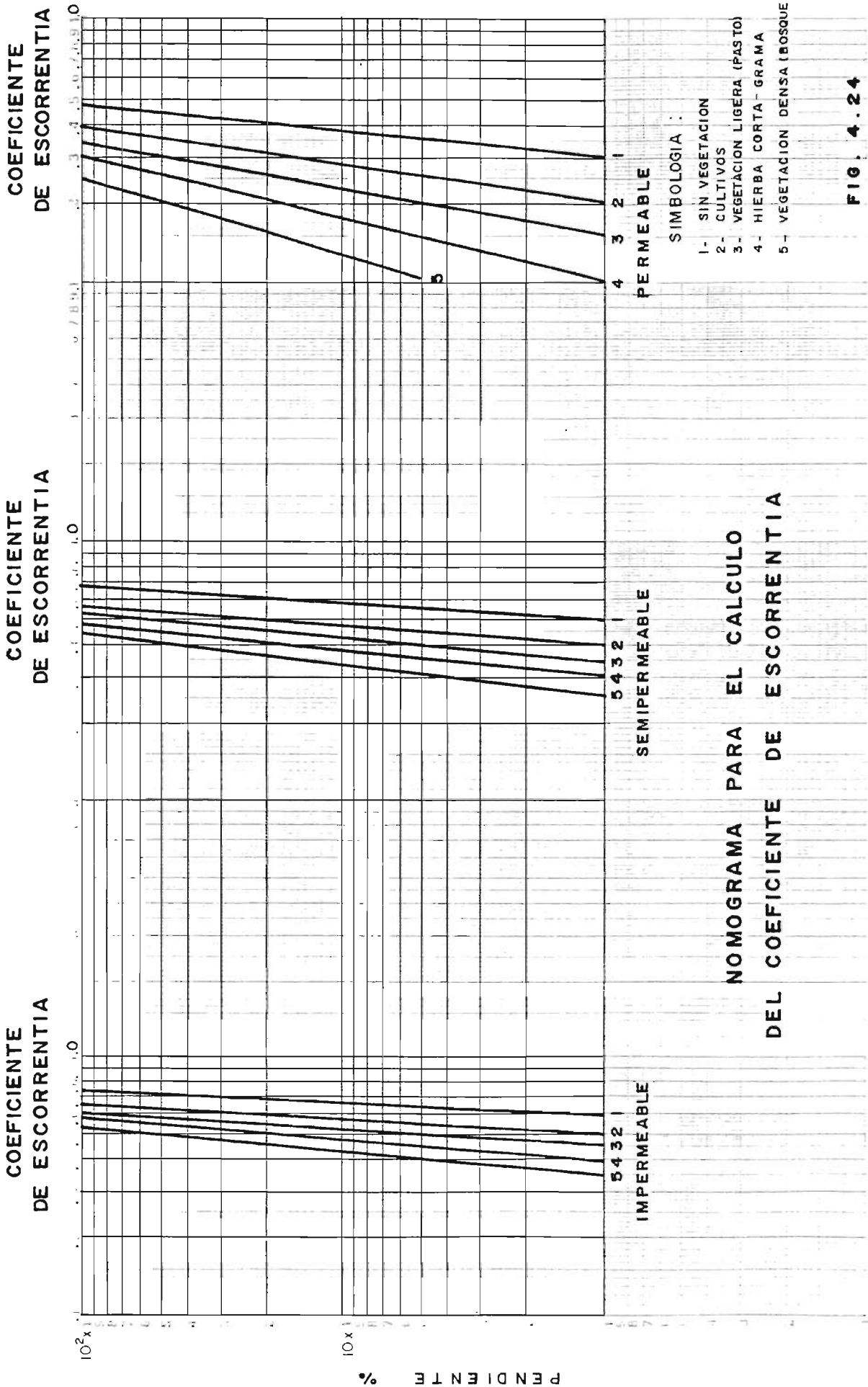
$$\text{Como: } C = \frac{l_e}{l_p} \quad \therefore \quad l_e = C l_p$$

Donde: C = Coeficiente de escorrentía

$l_e$  = Lámina de lluvia escurrida (mm)

$l_p$  = Lámina precipitación (mm).

El coeficiente de escorrentía, puede ser estimado, por medio de la utilización del gráfico de la fig. 4.24, éste relaciona los principales parámetros que delimitan su magnitud. Para su utilización es necesario conocer la pendiente media de la cuenca y las características de su cobertura. Con estos datos, puede entrarse en el gráfico y estimar el valor de "C"



Ahora, si se gráfica la expresión  $l_e = C l_p$  para diferentes valores de "C", se obtiene la familia de rectas mostradas en la fig. 4.25, en donde al entrar con un valor de precipitación y para un valor de "C" establecido, se obtendrá el valor de la cantidad de precipitación que formará el escurrimiento superficial.

Para la cuantificación del caudal de crecidas, interesa conocer el volumen escurrido y no la lámina escurrida, por lo tanto es necesario establecer otra relación que proporcione los volúmenes de escurrimiento. Como ya se conoce la lámina de precipitación que escurrirá ( $l_e$ ), el volumen será:

$$V = l_e A$$

Donde:  $V$  = Volumen escurrido ( $m^3$ )

$A$  = Area de la cuenca ( $km^2$ )

$l_e$  = Lámina escurrida (mm)

Esta expresión, se muestra en forma gráfica en la fig. 4.26 para diferentes valores de Area.

Finalmente, el método del Hidrograma Triangular, establece que el caudal máximo debe ser calculado por la expresión:

$$Q = \frac{2V}{tb}$$

Donde:  $Q$  = Caudal pico (máximo)

$V$  = Volumen de agua escurrido

$tb$  = Tiempo base.

FIG. 4. 25

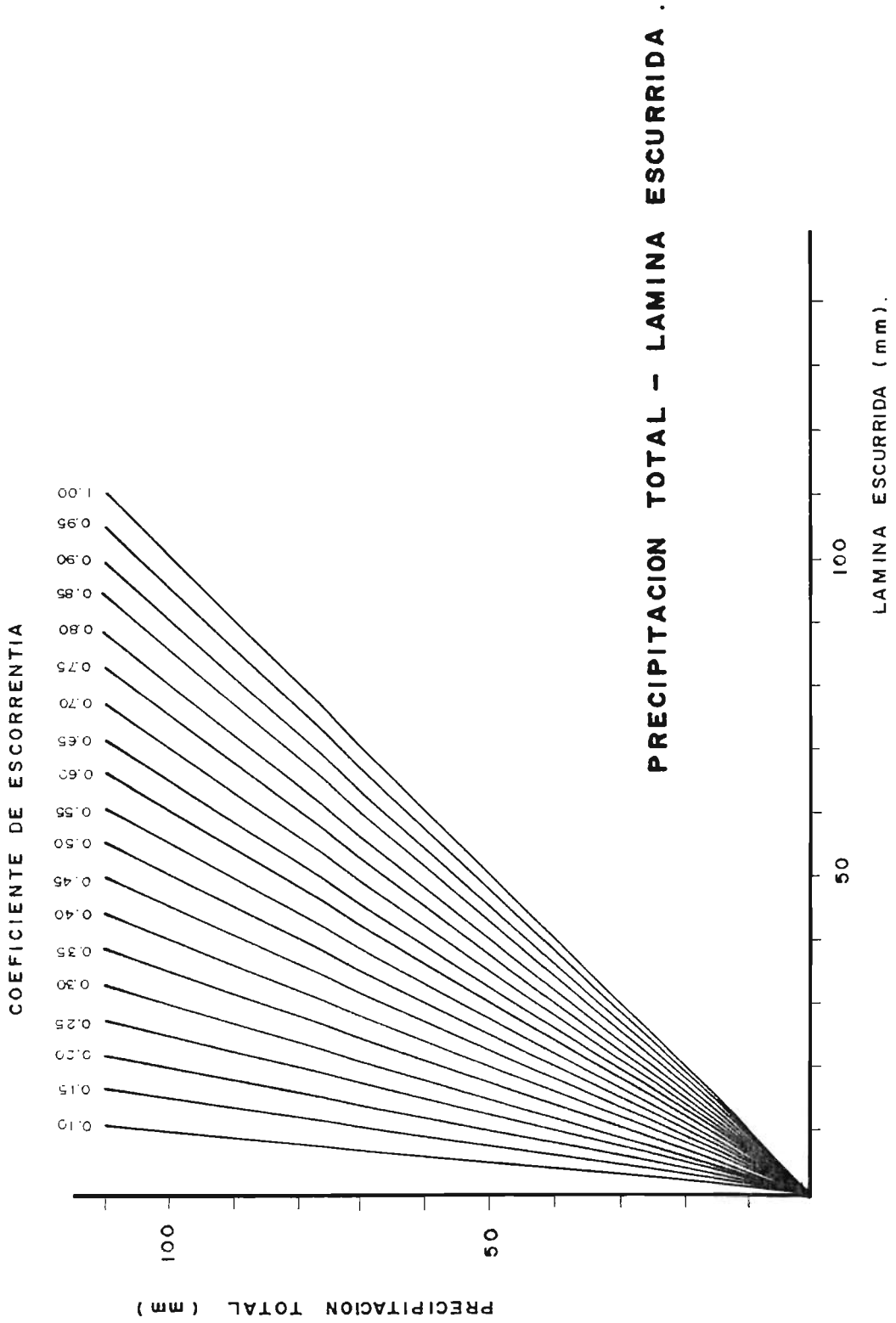
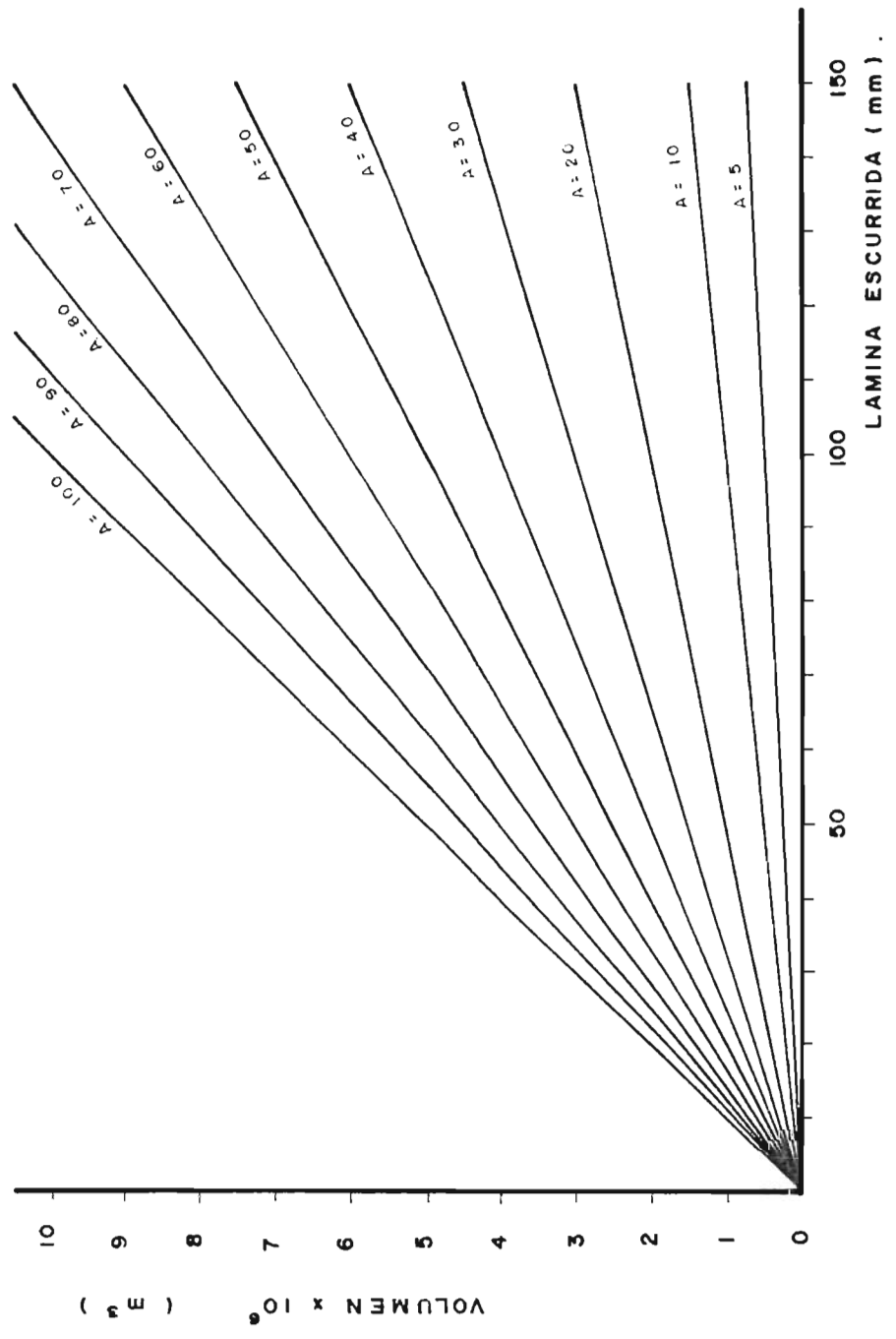


FIG. 4.26

LAMINA ESCURRIDA - VOLUMEN.



NOTA: AREA EN Km<sup>2</sup>.

Al graficar en el eje de las abcisas el caudal máximo y en el eje de las ordenadas el volumen escurrido, para diferentes valores de  $t_b$ , se obtendrá la familia de rectas mostradas en la fig. 4.27. Mediante este gráfico y tomando como entrada el volumen escurrido y el tiempo base, puede estimarse el caudal máximo producido.

#### 4.4 Conformación del Modelo Paramétrico

Al acomodar todas las relaciones entre parámetros desarrolladas, el modelo adopta la forma presentada en la fig. 4.28. Esta conformación, permite que la utilización del modelo sea sencilla y rápida, además involucra la mayoría de parámetros que intervienen en la producción de avenidas.

El tiempo de concentración " $t_c$ " y el coeficiente de escorrentía " $C$ ", deberán ser calculados por medio de sus respectivos gráficos y el tiempo base  $t_b$ , mediante la ecuación:

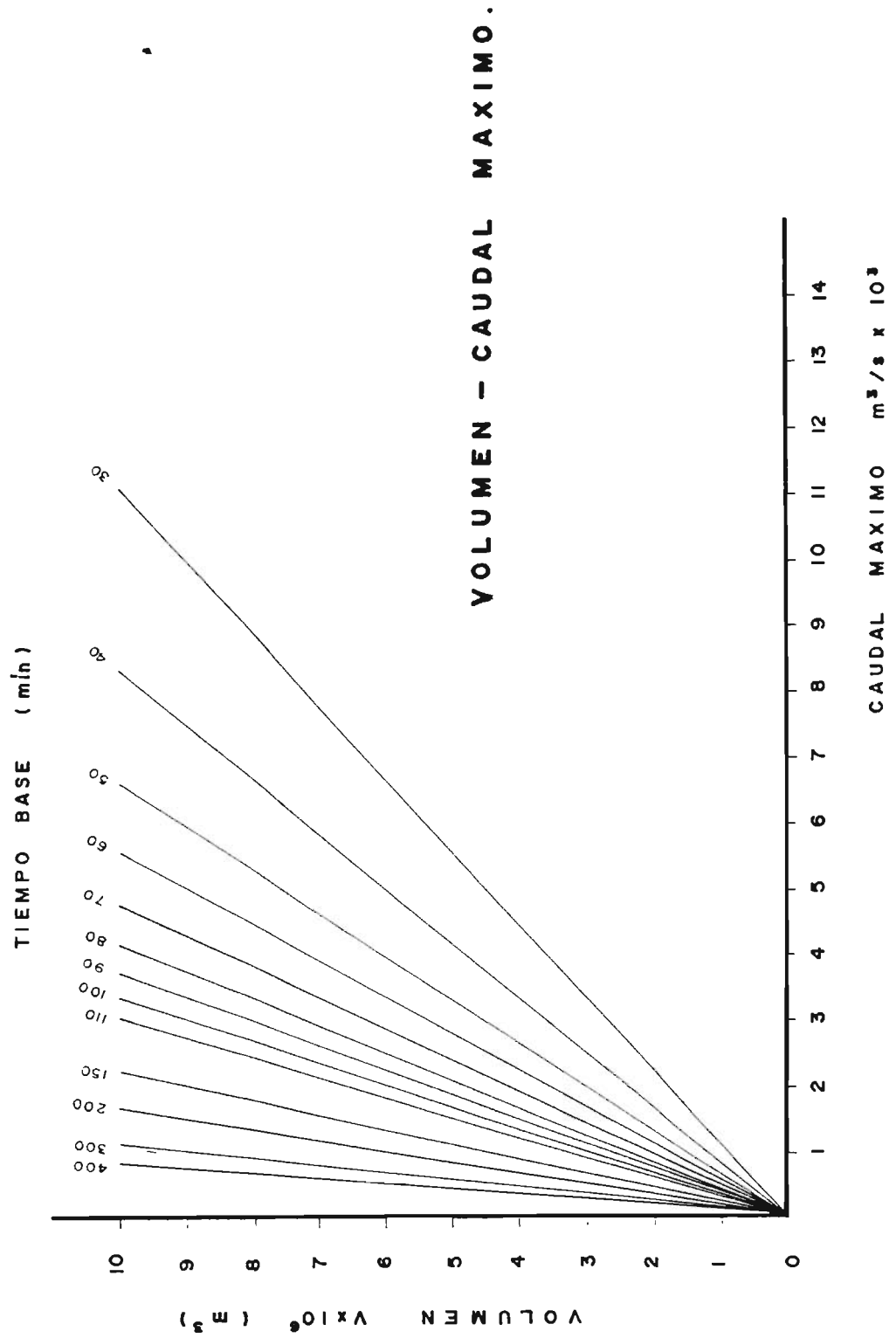
$$\begin{aligned} t_b &= t_r + t_p \\ t_p &= \frac{D}{2} + 0.6 t_c \\ t_r &= 1.67 t_p \\ t_c &= D \end{aligned}$$

Donde:  $t_b$  = Tiempo base (min)

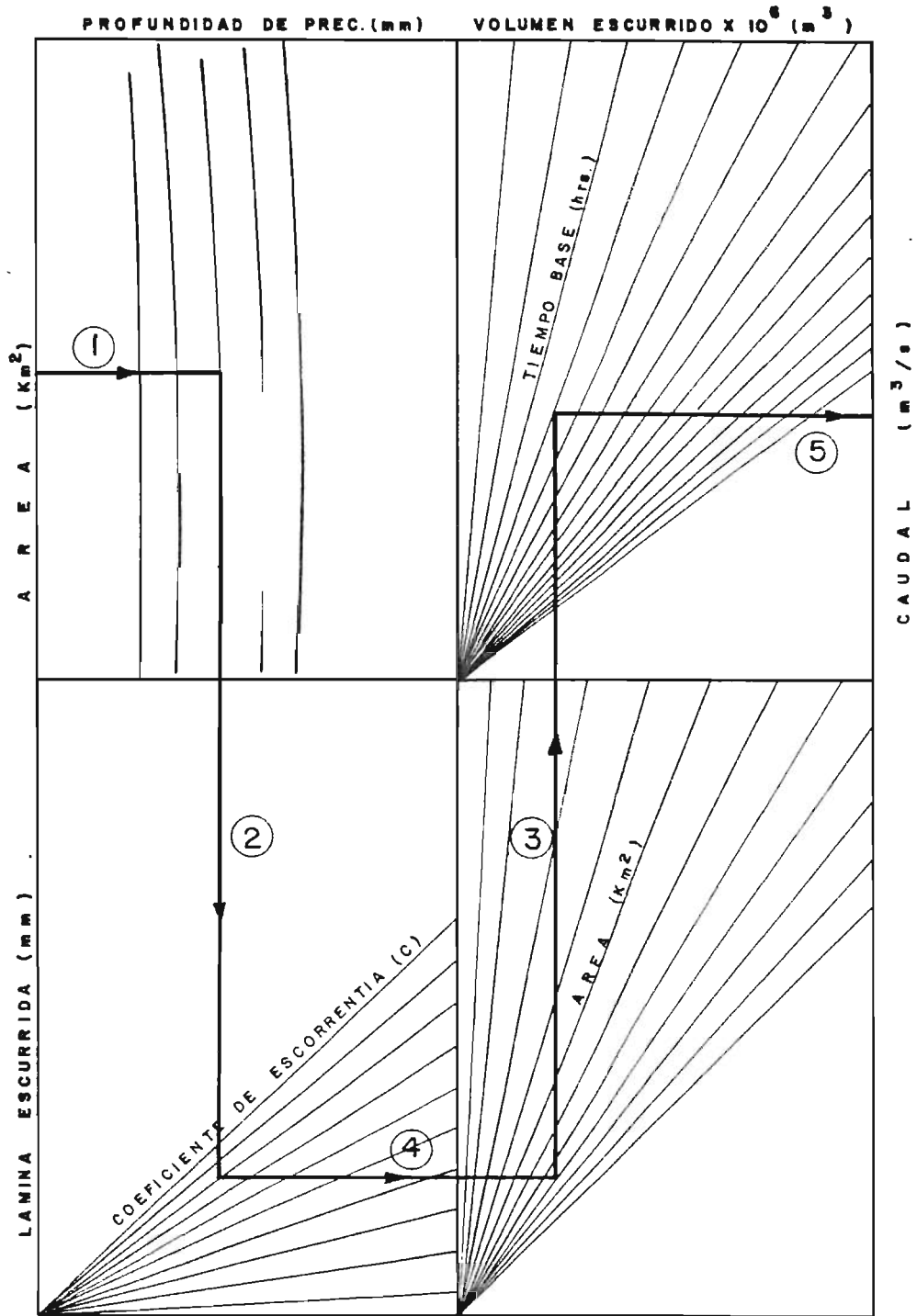
$t_p$  = Tiempo desde el inicio de la tormenta hasta  $Q_{max}$ .

$t_r$  = Tiempo desde  $Q_{max}$  hasta el final del descenso de la crecida

FIG. 4.27



CONFORMACIO DEL MODELO.



D = Duración de la tormenta (min)

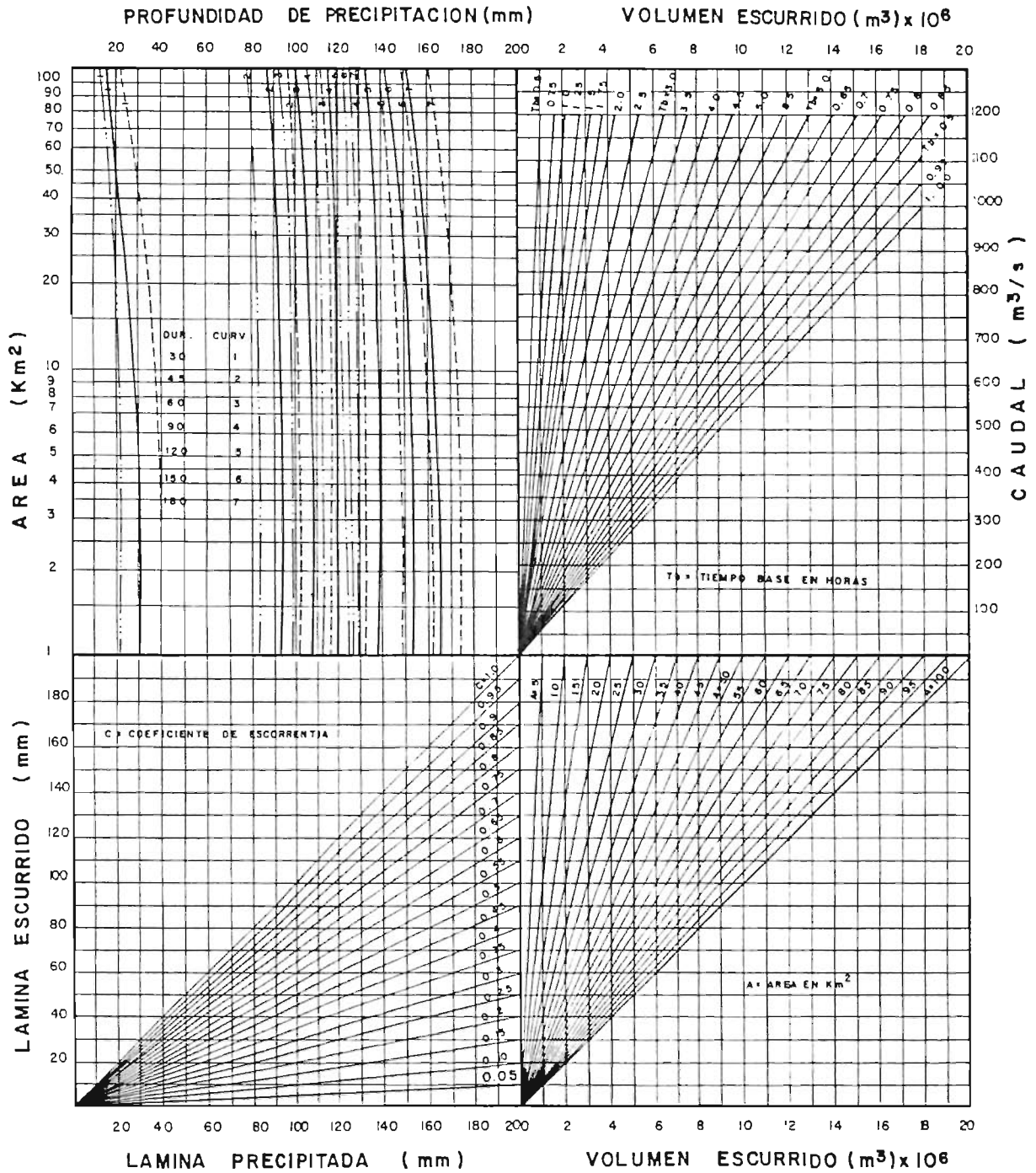
$t_c$  = Tiempo de concentración (min).

En el análisis de la lluvia expuesto en el Anexo B, el país ha sido dividido en dos grandes regiones, lo cual conlleva a tener dos familias de curvas Area-Profundidad de Precipitación-Duración, por lo tanto, es necesario establecer un modelo para cada región. Estos, se presentan en las figuras 4.29 y 4.30 para las regiones I y II, respectivamente.

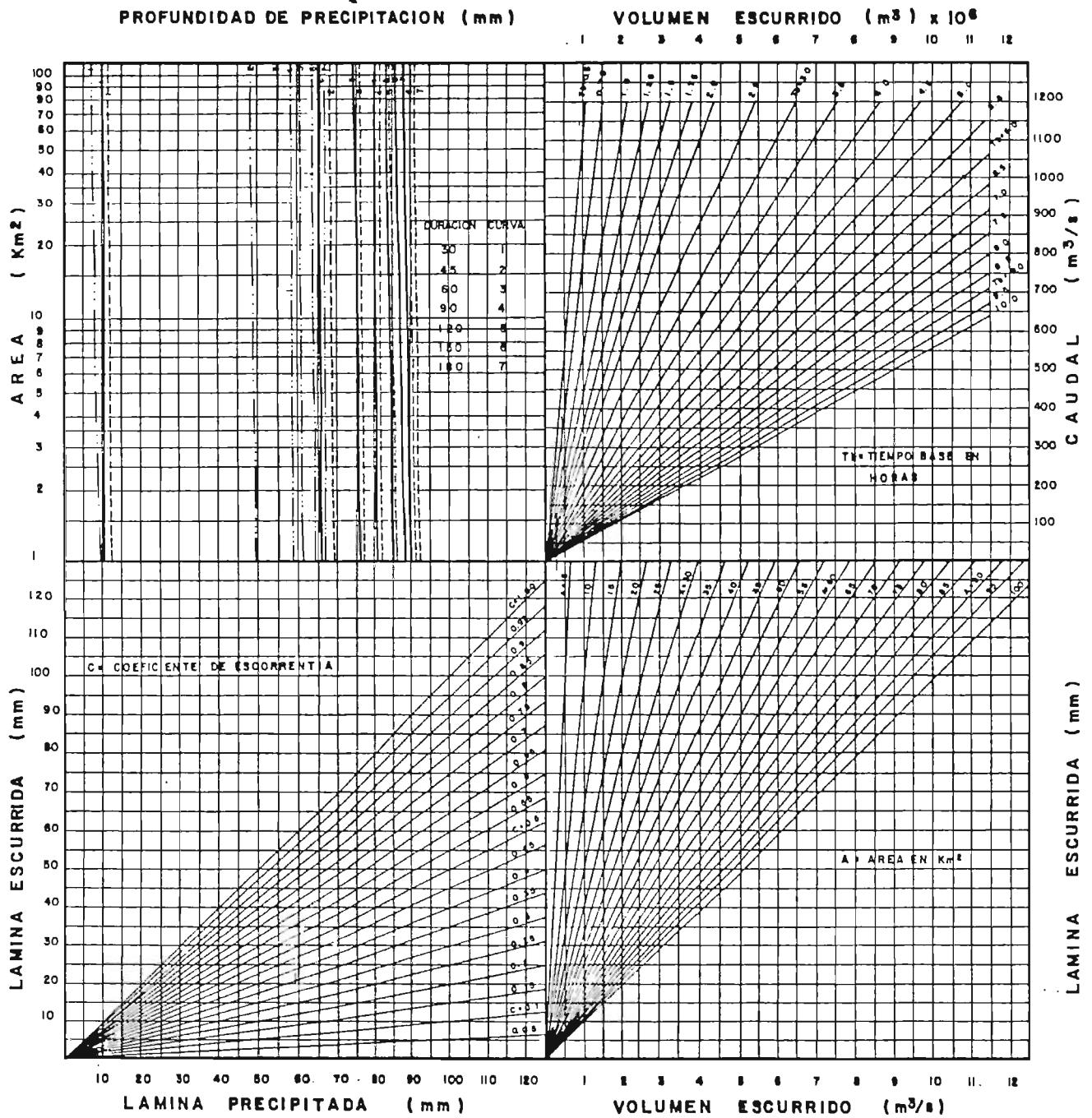
#### 4.5 Procedimiento a Emplear para la Utilización del Modelo Paramétrico

Para poder emplear el Modelo Paramétrico generado, debe identificarse, primero a cual de las dos regiones pertenece la cuenca en estudio y luego emplear el procedimiento siguiente:

- 1) Obtener los principales parámetros que caracterizan una cuenca, como lo son:
  - i) Area de la cuenca ( $\text{km}^2$ )
  - ii) Longitud del cauce más largo (km)
  - iii) Perímetro de la cuenca (km)
  - iv) Factor de compacidad
  - v) Rectángulo equivalente (l y L)
  - vi) Pendiente media de la cuenca
  - vii) Cobertura del terreno
  - viii) Tipo de suelo



SIMBOLOGIA		MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS	
PERIODO DE RETORNO		DE CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS	
.....	10 AÑOS	REGION I	FIGURA N° 4.29
————	25 AÑOS		
-----	50 AÑOS		



<b>SIMBOLOGIA</b>		<b>MODELO PARAMETRICO PARA EL ANALISIS DE</b>	
PERIODO DE RETORNO		<b>CRECIDAS EN PEQUEÑAS CUENCAS</b>	
—	10 AÑOS	<b>REGION' II</b>	
—	25 AÑOS		
- - -	50 AÑOS		
		<b>FIGURA No. 4.30</b>	

- 2) Establecer por medio de la relación  $l:L$  del rectángulo equivalente y el cuadro 4.2 , el tipo de cuenca a la que pertenece el sistema en análisis.
- 3) Utilizando como variable de entrada el área de la cuenca y la longitud del cauce más largo, estimar el tiempo de concentración por medio del gráfico correspondiente al tipo de cuenca al que pertenece (fig. 4.19 a 4.22).
- 4) Determinar el coeficiente de escorrentía mediante el gráfico 4.24 que es una función de la pendiente media de la cuenca, la cobertura del terreno y el tipo de suelo existente en la zona.
- 5) Adoptar un período de retorno en años ( $T$ ).
- 6) Calcular el tiempo base utilizando la fórmula presentada en el acápite 4.4.
- 7) Entrar en el gráfico con el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ .
- 8) Trazar una horizontal a partir del valor del área, hasta interceptar una curva con duración igual al tiempo de concentración y que posea el período de retorno ( $T$  en años) deseado. (Ver fig. 4.28). ①
- 9) A partir del punto obtenido en el paso anterior, bajar con una vertical hasta interceptar la recta correspondiente al valor de  $C$  seleccionado. ②
- 10) Trazar una horizontal a partir del punto anterior hasta cortar la recta correspondiente a un área igual o similar a la de la cuenca estudiada. ③

11) Levantar una vertical hasta unirla con la línea correspondiente al tiempo base calculado. (4)

12) A partir del punto obtenido en el paso anterior, trazar una horizontal hasta el eje, este punto de corte, corresponde al valor del caudal máximo. (5)

A manera de ejemplo, se calculará la avenida máxima producida por el Río Izcanal (fig. 4.15), cuya cuenca hidrográfica, pertenece a la Región II.

1) Parámetros característicos de la cuenca

- i) Area de la cuenca = 13.48 km<sup>2</sup>
- ii) Longitud del cauce más largo = 16.50 km
- iii) Perímetro de la cuenca = 32.0 km.
- iv) Factor de compacidad = 2.44
- v) Rectángulo equivalente L = 15.11 y l = 0.89
- vi) Pendiente media de la cuenca = 28.8%
- vii) Cobertura del terreno = Vegetación Densa
- viii) Tipo de suelo = Semi-permeable.

2) Relación lado corto del Rectángulo equivalente 1:L = 1:17.

De cuadro 4.2, esta cuenca es del tipo Río San Antonio.

3) De la fig. 4.22 y su respectiva ecuación  $t_c = 84.3$  min.

4) De gráfico 4.24,  $C = 0.37$ , pero para efectos de la utilización del modelo se usará  $C = 0.35$ .

5) Se ha adoptado un período de retorno  $T = 10$  años.

6) Cálculo del tiempo base.

$$t_b = t_r + t_p$$

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6 t_c ; \text{ para una duración } D = 90 \text{ min.}$$

$$(D = t_c)$$

$$t_p = \frac{90}{2} + 0.6 (84.3) \therefore t_p = 95.58 \text{ min.}$$

$$t_r = 1.67 t_p \quad \therefore t_r = 159.62 \text{ min.}$$

$$\text{Luego : } t_b = t_p + t_r$$

$$t_b = 255.2 \text{ min} = 4.2 \text{ horas}$$

Para el cálculo de  $Q_{\max}$  por medio del modelo generado, se empleará un  $t_b = 4$  horas.

Ahora, empleando el procedimiento indicado para la utilización del modelo, y en base a los cálculos antes efectuados, el caudal máximo producido por la cuenca del Río Izcanal, es de  $35.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

CAPITULO V

COMPROBACION DEL MODELO Y SU APLICACION EN EL  
=====

DRENAJE SUPERFICIAL DE CARRETERAS  
=====

## CAPITULO V

### "COMPROBACION DEL MODELO Y SU APLICACION EN EL DRENAJE SUPERFICIAL DE CARRETERAS"

#### 5.1 Generalidades

Una vez establecido el modelo, se hace necesario efectuar una investigación, encaminada a determinar el grado de confiabilidad que éste posee. Para cumplir con tal propósito, se han analizado una serie de secciones transversales, de ríos considerados como representativos de cada uno de los grupos en que se han clasificado las cuencas a nivel del país.

El análisis efectuado, se basa en el comportamiento hidráulico de las secciones transversales, ante una crecida; en este caso, se ha adoptado como evento de comprobación, el temporal ocurrido del 24 al 31 de agosto de 1988.

Además en este capítulo, se presenta una metodología que permite desarrollar, el predimensionamiento hidráulico de las obras de cruce, empleadas en el drenaje superficial de carreteras.

#### 5.2 Comprobación del Modelo

##### 5.2.1 Información Topográfica Empleada

La información topográfica empleada en este análisis, consis

te en secciones transversales de cauces representativos de cada grupo de cuencas. Los sitios en donde se obtuvieron las secciones transversales, son los mismos puntos para los cuales se obtuvieron las cuencas involucradas a lo largo del estudio.

En estas secciones, se ha localizado el nivel de aguas máximas, alcanzado para el evento meteorológico tomado como base en este análisis (Temporal del 24 al 31 de agosto de 1988).

Además de esta información, se obtuvieron perfiles longitudinales de los cauces, con el objeto de establecer su pendiente media, la cual será empleada en el estudio hidráulico de la sección; también se efectuaron las observaciones necesarias, para estimar el coeficiente de rugosidad "n" de Manning. En las figuras 5.1 y 5.2, se muestran fotografías de dos de los sitios analizados, las cuales pueden darnos una idea de las características de dichos ríos.

Los cauces estudiados son los mostrados en el cuadro 5.1 y las características de los sitios de interés, ilustrados en las figuras 5.3 a 5.10.

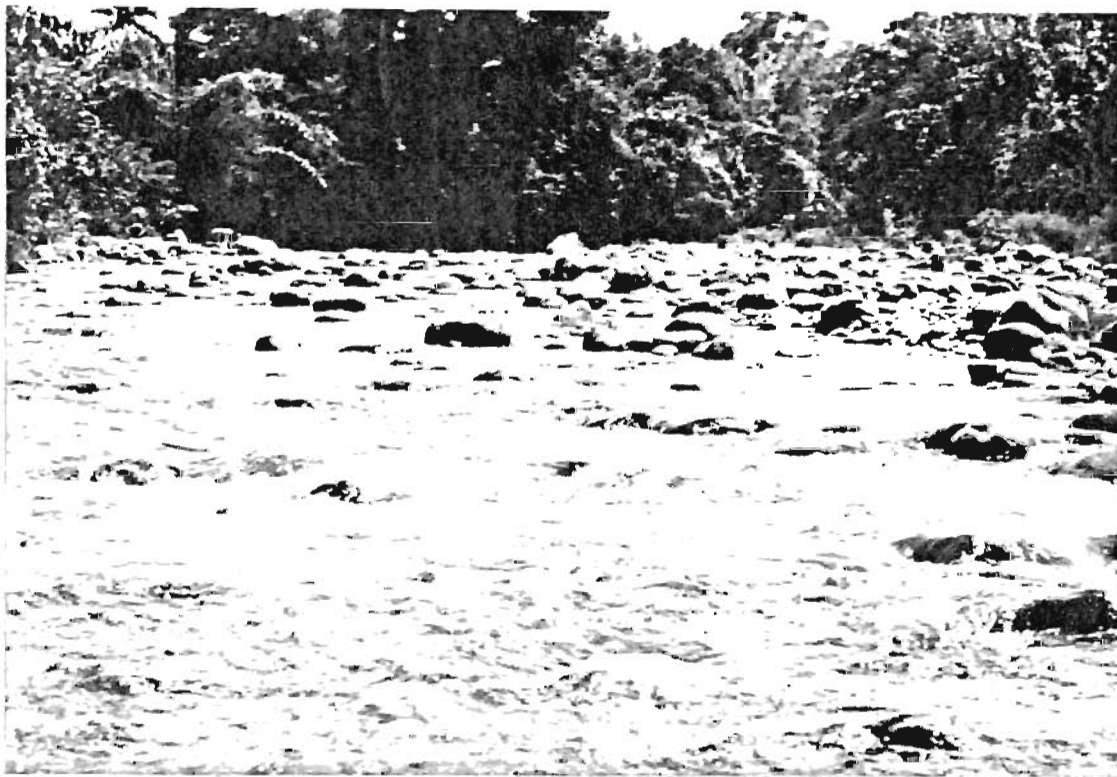


FIG. 5.1 VISTA DEL RIO "CARA SUCIA". AGUAS ARRIBA DE LA CARRETERA DEL LITORAL.



FIG. 5.2 VISTA DEL RIO "EL JUTE". AGUAS ARRIBA DE LA CARRETERA DEL LITORAL.

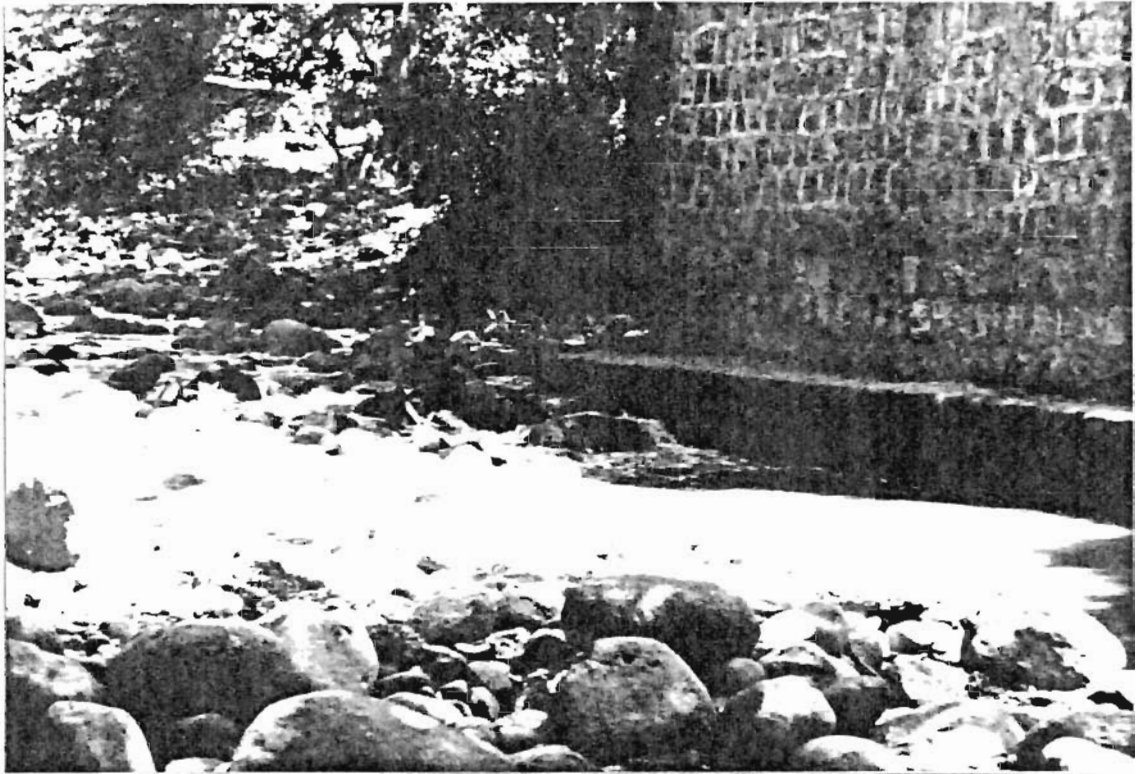


FIG. 5.3 SECCION DEL RIO " EL ZONTE " ( CARRETERA DEL LITORAL ).



FIG. 5.4 SECCION DEL RIO " COMAS AGUA " ( CARRETERA DEL LITORAL ).

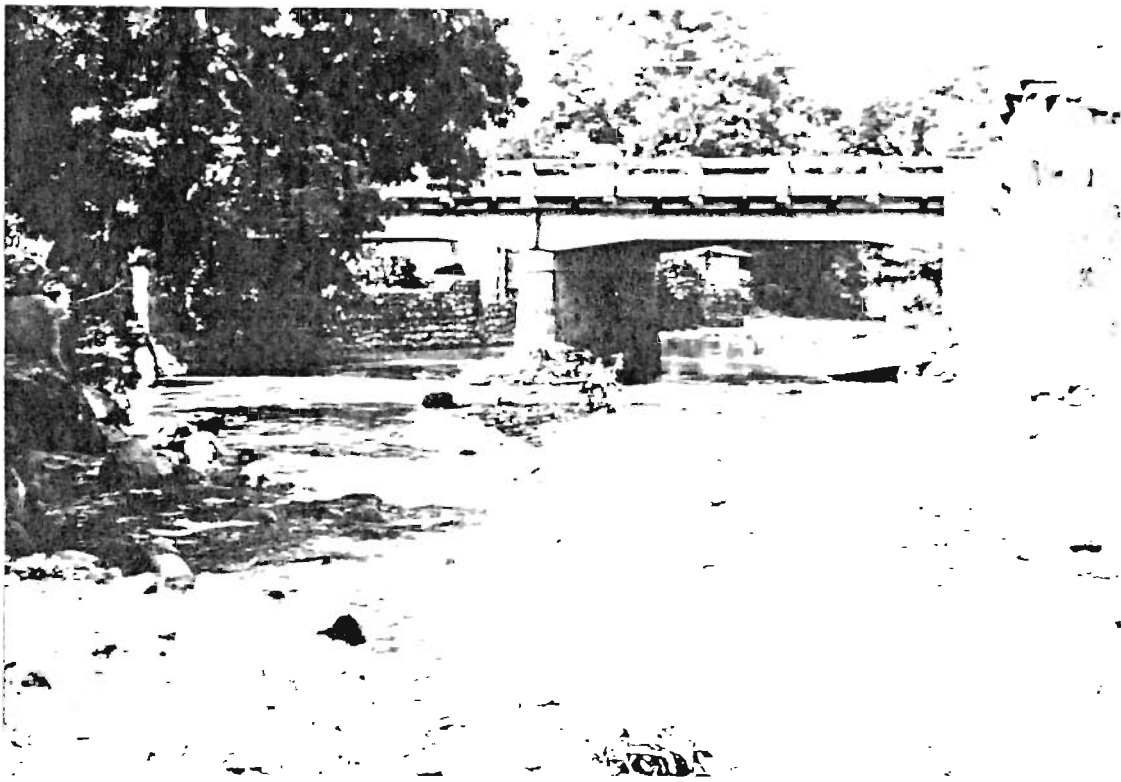


FIG. 5.5 SECCION DEL RIO "CARA SUCIA" (CARRETERA DEL LITORAL)

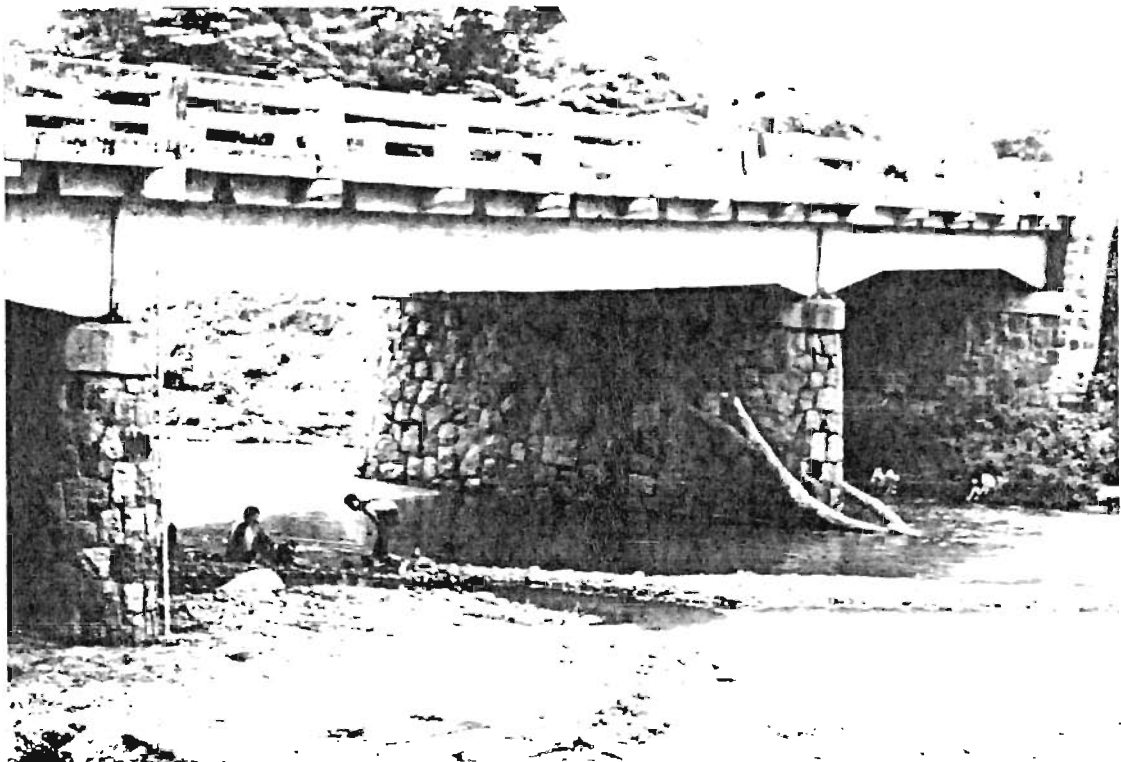


FIG. 5.6 SECCION DEL RIO "EL ROSARIO" (CARRETERA DEL LITORAL)

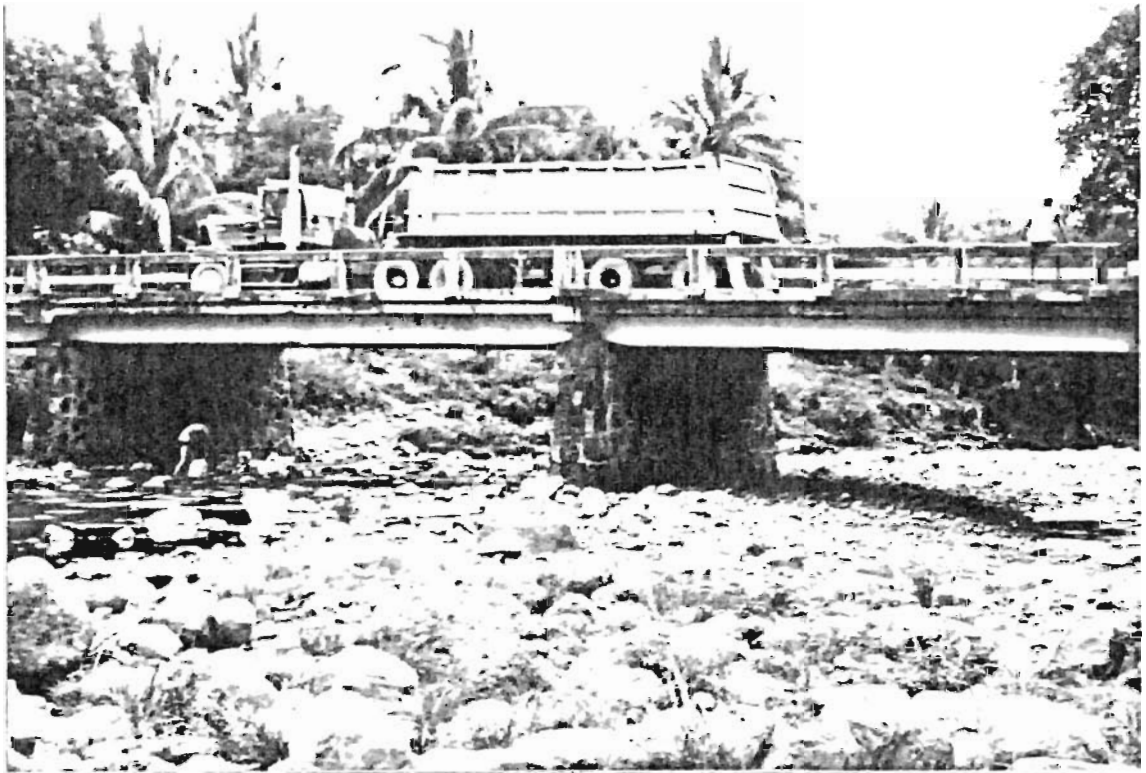


FIG. 5.7 SECCION DEL RIO "EL JUTE" (CARRETERA DEL LITORAL).



FIG. 5.8 SECCION DEL RIO "LOS NARANJOS" (CARRETERA DEL LITORAL).

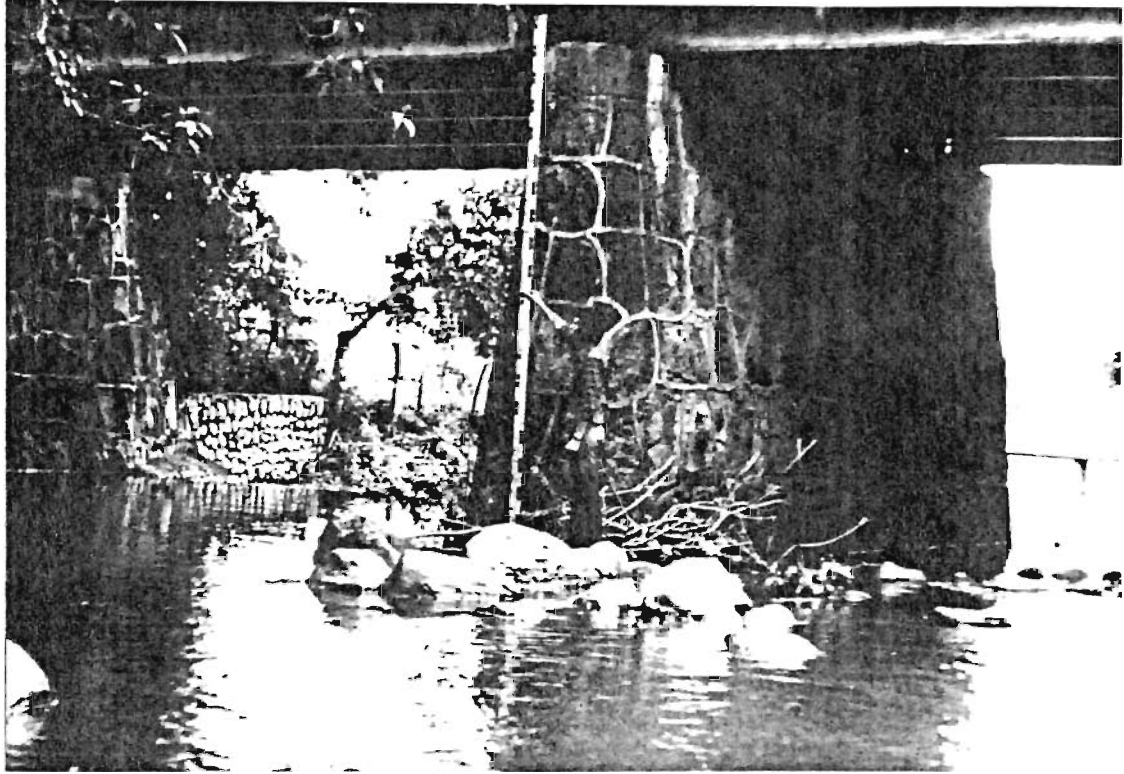


FIG. 5.9 SECCION DEL RIO "SAN ANTONIO" (CARRETERA DEL LITORAL).

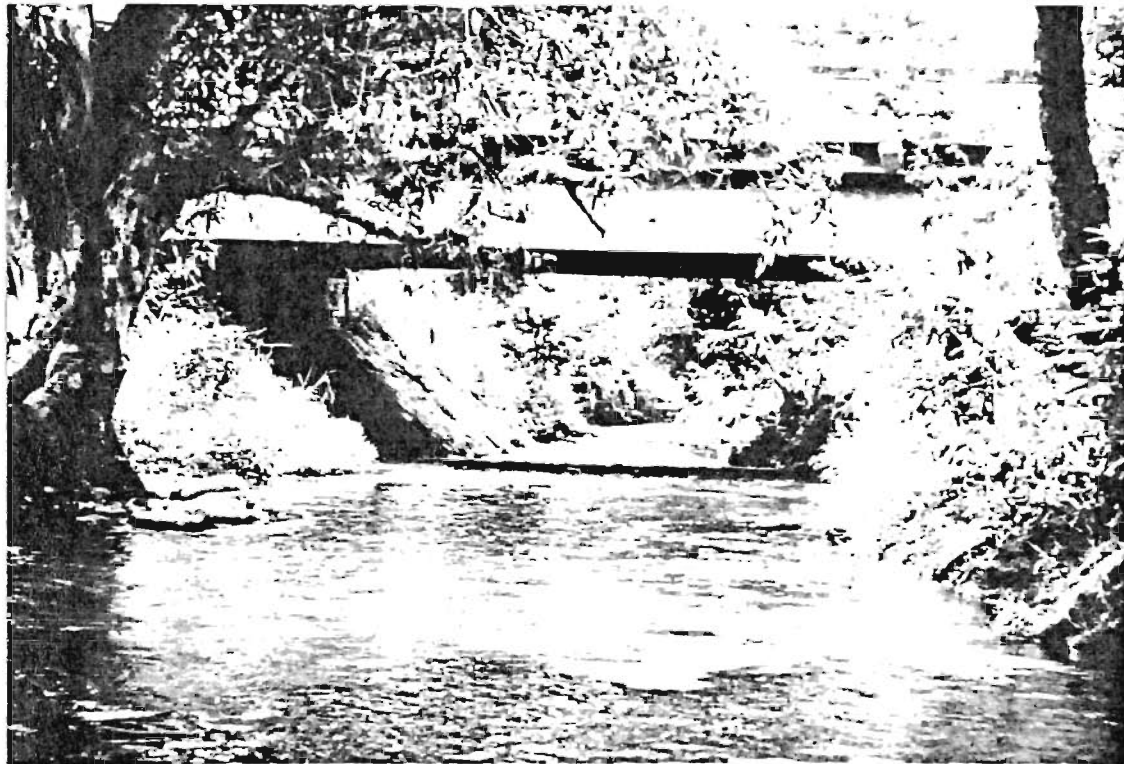


FIG. 5.10 SECCION DEL RIO "IZCANAL" (CARRETERA DEL LITORAL).

Cuadro 5.1

Tipo de Cuenca	Cauce Analizado
R. Talnique	Río Talnique
R. Comalapa	Río El Zonte
R. Comalapa	Río Comasagua
R. Comalapa	Río Cara Sucia
R. Comalapa	Río El Rosario
R. El Jute	Río El Jute
R. El Jute	Río Los Naranjos
R. San Antonio	Río San Antonio
R. San Antonio	Río Izcanal

### 5.2.2 Análisis Hidráulico

El análisis hidráulico efectuado, para cada una de las secciones transversales obtenidas, consiste en la elaboración de las curvas  $AR^{2/3}$  vrs  $h$ ; éstas, muestran el comportamiento del Factor Geométrico ( $AR^{2/3}$ ) en función del nivel de agua ( $h$ ) alcanzado.

La metodología para su elaboración, consiste en asumir valores de  $h$  y para cada uno de ellos, calcular el área hidráulica y el perímetro mojado de la sección; una vez obtenidos estos datos, se está en capacidad de establecer el Factor Geométrico ( $AR^{2/3}$ ), para cada valor de  $h$ .

Las curvas  $AR^{2/3}$  vrs  $h$  de las secciones estudiadas, se muestran en las figs. 5.11a 5.19.

Estas curvas, son muy útiles en la determinación del nivel de aguas máximas, que alcanzaría un caudal determinado, ya que -

de las características de la sección y el caudal, puede establecerse el factor hidráulico y como el factor hidráulico es igual al factor geométrico, podría entrarse con éste en la curva, para obtener el tirante máximo que produciría dicho caudal.

El Factor Geométrico, puede obtenerse a partir de la ecuación de Manning, de la siguiente manera:

Sabemos que :

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (\text{Despejando } AR^{2/3}).$$

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{S^{1/2}}$$

Donde:

$AR^{2/3}$  = Factor Geométrico = Factor Hidráulico

$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning-

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$A$  = Area hidráulica de la sección ( $m^2$ )

$R$  = Radio hidráulico (m).

### 5.2.3 Cálculo de Caudales por Medio del Modelo Generado y Establecimiento de su Precisión

Como en la información de campo recopilada, se tienen datos de niveles de aguas máximas, registrados para el temporal ocurrido entre el 24 y 31 de agosto de 1988, en el cálculo de cauda

les para la comprobación del modelo, se ha empleado un periodo de retorno de 10 años, el cual es el correspondiente al evento meteorológico antes mencionado.

Además, se ha estimado en base a las características de la cobertura de las cuencas y su pendiente media, un coeficiente de escorrentía  $C = 0.35$ .

En el cuadro 5.2, se muestran los demás parámetros empleados en la obtención de los caudales por medio del modelo generado y también se incluyen las características del cauce necesarias para la determinación del nivel de aguas máximas; éste, será obtenido mediante la utilización de las curvas  $AR^{2/3}$  vrs  $h$  que se presentan para cada cuenca empleada en la comprobación del modelo, en las figuras 5.11 a 5.19.

Una vez calculado el tirante alcanzado por el caudal obtenido para cada cauce, puede efectuarse la comparación de éste con el nivel de aguas máximas obtenido de las inspecciones de campo realizadas.

Del cuadro 5.3, puede observarse que los tirantes calculados y los de campo, son bastante próximos, lo que indica que los caudales generados, poseen una aproximación aceptable respecto a los caudales escurridos para el temporal de agosto de 1988, adoptado como evento meteorológico de comprobación.

Cuadro 5.2 Cálculo de Caudales por Medio del Modelo Generado

Cuenca	Ac (km )	T (años)	tc (min)	D (min)	C	tb (hr)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Características del Cauce		AR <sup>2/3</sup>
								n	S	
R. Talnique	99.24	10	82.35	90.0	0.35	4.0	280.0	0.025	0.0027	134.7
R. El Zonte	31.06	10	103.7	90.0	0.35	5.0	70.0	0.040	0.0013	77.7
R. Comasagua	41.60	10	114.2	120.0	0.35	6.0	78.0	0.040	0.0017	75.7
R. Cara Sucia	36.66	10	125.7	120.0	0.35	6.0	68.0	0.040	0.0050	38.5
R. El Rosario	77.68	10	153.5	150.0	0.35	7.5	125.0	0.035	0.0025	87.5
R. El Jute	21.09	10	120.0	120.0	0.35	6.0	37.0	0.035	0.0004	64.8
R. Los Naranjos	39.38	10	138.8	150.0	0.35	7.0	63.0	0.035	0.0012	63.7
R. San Antonio	18.18	10	99.7	90.0	0.35	4.5	45.0	0.025	0.0012	32.5
R. Izcanal	13.48	10	84.3	90.0	0.35	4.0	35.0	0.025	0.0018	20.6

CUADRO: 5.3

## COMPARACION DEL NIVEL DE AGUAS MAXIMAS (N.A.M.)

C A U C E .	N. A . M. CALCULADO ( m )	N. A . M DE CAMPO ( m )	GRADO DE CONFIANZA . ( % )
R I O T A L N I Q U E .	2 . 0 0	2 . 1 0	9 5 . 0 0
R I O E L Z O N T E .	2 . 7 0	3 . 0 0	9 0 . 0 0
R I O C O M A S A G U A .	2 . 5 0	2 . 7 0	9 3 . 0 0
R I O C A R A S U C I A .	1 . 7 0	2 . 1 0	8 1 . 0 0 <u>1/</u>
R I O E L R O S A R I O .	2 . 7 0	3 . 0 0	9 0 . 0 0
R I O E L J U T E .	2 . 4 0	2 . 5 0	9 6 . 0 0
R I O L O S N A R A N J O S .	2 . 0 0	2 . 4 0	8 3 . 0 0 <u>1/</u>
R I O S A N A N T O N I O .	1 . 3 0	1 . 5 0	8 7 . 0 0 <u>1/</u>
R I O I Z C A N A L .	2 . 1 0	2 . 4 0	8 7 . 0 0 <u>1/</u>

1/ EN ESTOS CASOS, EL GRADO DE DISPERSION, DE LOS TIRANTES, PUEDE DEBERSE EN CIERTA FORMA, A LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS EXISTENTES EN LOS SI-TIOS ANALIZADOS, EN EL TRANSITO DE LA AVENIDA.

En términos generales, puede decirse que el modelo posee un grado de confianza del 80 al 95 por ciento, con un promedio del 89%.

### 5.3 Aplicación del Modelo en el Drenaje Superficial de Carreteras

El drenaje superficial de carreteras, consiste en la evacuación de las aguas que caen directamente sobre la plataforma del camino y de otras áreas que desaguen en la misma, mediante estructuras adecuadas.

Las estructuras más usuales en el drenaje superficial, pueden ser clasificadas en dos grandes grupos:

- i) Obras de captación y defensa. Su función es captar el agua que fluye al camino y proteger los distintos elementos de éste, contra la acción de aguas ya sea en movimiento o almacenadas; entre estas obras pueden citarse las cunetas y contracunetas.
- ii) Obras de cruce. Su función, es la de dar salida al agua que fluye por los cauces o depresiones a salvar por el camino y evitar su entrada a la plataforma del mismo; la evacuación de estas aguas, puede lograrse solamente por medio de estructuras que cruzan el eje de la carretera.

Para cada estructura de drenaje, el proyectista debe definir su ubicación, tipo de obra y sección transversal, pendiente y

longitud de la estructura.

La determinación del tipo de obra a emplear y la selección de la sección transversal (Forma y Area Hidráulica), constituyen la principal dificultad a la que el proyectista tiene que enfrentarse. Debido a esta situación y a las magnitudes de las áreas de drenaje, para las cuales el modelo es válido, se incluyen en este apartado, algunas recomendaciones para la elección del tipo de obra de cruce a utilizar y su localización en función de las características del cauce que atraviesa el proyecto; además se proporciona una metodología gráfica para realizar el predimensionamiento hidráulico de obras de cruce.

### 5.3.1 Obras de Cruce

Las obras de cruce, se construyen para salvar arroyos, hondonadas, cañadas, canales de riego, etc. Constituyen el drenaje transversal, llamado también obras de arte.

Pueden clasificarse en términos generales en alcantarillas y puentes; aunque no existe una marcada diferencia en cuanto a la delimitación de su capacidad hidráulica, afirmándose que - las alcantarillas, pueden considerarse como obras menores.

Las alcantarillas, están conformadas por un dispositivo de - conducción o cañón y los muros de cabezal. El cañón, es la alcantarilla misma y los muros tienen como función impedir la -

erosión alrededor del cañón, guiar la corriente de agua a la entrada y salida del cañón y evitar que el terraplén invada el cauce.

De acuerdo a la sección transversal del cañón, las alcantarillas pueden ser tubulares, en cajón o de bóveda.

Los puentes, son empleados para salvar aquellos cauces, cuya sección transversal sea muy ancha o de gran profundidad respecto a la rasante del camino.

En la ubicación del cruce, pueden presentarse dos casos:

- i) Cuando el cauce está perfectamente definido y la ubicación de la obra es evidente.
- ii) Cuando el cauce de la corriente, forma meandros y es divagante e indefinido.

La ubicación de una obra, debe hacerse de tal forma que las condiciones naturales del cauce, puedan mantenerse con la menor perturbación posible, por cuanto deberán tomarse muy en cuenta las consideraciones siguientes:

- i) El cauce debe ser definido y permanente (no divagante).
- ii) El cruce debe hacerse en un tramo recto del cauce.
- iii) No deben de existir trastornos hidráulicos locales como islas, pozas, socavaciones, erosiones, etc.
- iv) Los taludes de las márgenes del cauce, deberán ser uniformes, procurando una semejanza de un canal artificial.

- v) El cauce en el punto de cruce, tiene que ser lo más estrecho posible, a fin de disminuir los costos de construcción. Esta situación, debe ser tomada en cuenta, pero puede no ser determinante.
- vi) El nivel de aguas máximas, para el cual se diseña la obra, debe ser manejado naturalmente por el cauce, sin que éste llegue a ser obligado hidráulicamente a ello.
- vii) El ángulo de cruce, tiene que ser aproximadamente de  $90^\circ$  respecto al eje del camino.
- viii) Debe de existir suelo adecuado para la cimentación.

En algunas ocasiones, será difícil encontrar sitios que cumplan todos los requisitos anteriores, bajo esta situación, se tendrá que seleccionar el lugar que mejor se adapte a éstos y proyectar obras tendientes a mantener la estabilidad del cauce.

Aunque se logre encontrar un sitio de cruce, que reúna las condiciones óptimas para la obra de paso, siempre es recomendable, realizar estudios de soavación de pilas y estribos, así como la construcción de muros de encauzamiento.

### 5.3.2 Criterios para la Elección del Tipo de Obra de Cruce

Una vez establecido el sitio donde se ubicará la obra, es necesario efectuar un análisis de dicho lugar, con el objeto de determinar el tipo de obra de cruce a emplear.

El estudio local de dicho sitio, debe comprender los aspectos siguientes:

- i) Topografía (Curvas de nivel, secciones longitudinales y transversales del cauce, etc.)
- ii) Estudio de Suelo (Clasificación, perfiles estratigráficos, capacidad de soporte, etc.).
- iii) Alineamiento vertical de la carretera en la zona próxima al cruce.

Además de estas características, el comportamiento hidrológico del área que drena hacia ese punto, juega un papel muy importante en la elección y el dimensionamiento hidráulico de la obra.

Para esta elección, se busca la forma que mejor se adapte al cauce del cauce natural. En cauces estrechos y profundos que transportan grandes caudales en la época lluviosa, es más conveniente instalar obras estrechas y altas como son las bóvedas. En zonas planas sin cauces definidos, en donde el agua escurre en grandes volúmenes, pero su altura es pequeña, una obra de cajón es la más indicada, dependiendo indiscutiblemente de las condiciones de suelo y geometría del lugar especialmente.

Las alcantarillas tubulares, son recomendables en el caso de caudales de diseño bajos y los taludes de la sección transversal del cauce, poseen una pendiente menor a 30 grados.

Otro tipo de obra de cruce la constituyen los puentes, éstos deben ser empleados en aquellos casos en que la profundidad y/o ancho del cauce sea extremadamente grandes, y dependiendo de las circunstancias y grado de importancia del camino - analizado.

Las dimensiones de todas estas obras, deben ser las adecuadas para que la sección sea capaz de aliviar caudales producidos por eventos meteorológicos extremos. Estas dimensiones, pueden ser calculadas mediante la aplicación de la fórmula - de Manning. Además, es necesario efectuar un chequeo de las velocidades producidas, para poder detectar si se producirá socavación o sedimentación en la obra. Si la velocidad del - agua genera cualquiera de estos problemas, será necesario tomar las medidas correctivas con el propósito de mejorar las condiciones de flujo en la sección, mediante el aumento o - disminución de las dimensiones de la sección escogida, cambio del tipo de obra y en algunos casos proyectar estructuras para contrarrestar la socavación o condicionar el tramo a operar como un flujo gradualmente variado, con el objeto - de conseguir el tirante y la velocidad necesaria para el desalojo del caudal de diseño.

Es de hacer notar, que el aspecto económico, influye en gran medida en la elección del tipo de estructura a emplear.

### 5.3.3 Metodología para el Predimensionamiento Hidráulico de la Sección Transversal a Emplear

Para poder efectuar el dimensionamiento hidráulico de la obra de cruce seleccionada, se hace necesario establecer la relación existente entre la Hidrología y la Hidráulica.

Como se indicó anteriormente, esta relación, puede ser obtenida en forma satisfactoria mediante la aplicación de la fórmula de Manning y la fórmula de continuidad, las cuales son:

Fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \therefore \quad R = \frac{A}{P_m}$$

Fórmula de Continuidad

$$Q = VA$$

Donde: V = Velocidad (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

R = Radio Hidráulico (m)

A = Area Hidráulica (m<sup>2</sup>)

P<sub>m</sub> = Perímetro mojado (m)

S = Pendiente media del cauce en el tramo analizado  
(m/m)

Q = Caudal que es capaz de conducir dicha sección  
(m<sup>3</sup>/s).

De estas expresiones, puede observarse que para su aplicación, es necesario conocer algunas características de la sección transversal de la obra a utilizar y algunas cualidades propias del sitio de cruce seleccionado.

Conocidas las ecuaciones, puede entrarse en un proceso iterativo, modificando las dimensiones de la obra, hasta obtener una estructura que sea capaz de aliviar el caudal de diseño establecido; esta tarea resulta muy tediosa, aunque conduce a la obtención de una precisión razonable en el cálculo.

Si se analizan las ecuaciones de Manning y Continuidad, se tiene que:

$$\text{Como: } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{Ec. de Manning}) , \text{ y}$$

$$Q = AV \quad (\text{Ec. de Continuidad})$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A ; \text{ ahora, despejando } AR^{2/3}$$

$$AR^{2/3} = \frac{n Q}{S^{1/2}}$$

El término  $AR^{2/3}$ , se conoce como Factor Geométrico y puede ser obtenido al conocer el caudal de diseño (Q), el coeficiente de rugosidad de Manning (n) y la pendiente del cauce o del fondo de la obra (S).

La obra más adecuada a construir, es aquella cuyo Factor Geométrico calculado a partir de sus dimensiones, sea igual al factor hidráulico calculado en base al caudal de diseño y las características del sitio de paso.

Para poder efectuar un predimensionamiento hidráulico en forma rápida y sencilla, en las figuras 5.20 y 5.21, se presentan curvas, que relacionan el factor geométrico y el diámetro o el tirante máximo necesario, para aliviar el caudal de diseño.

Los tipos de obras analizadas en estos gráficos, son tuberías prefabricadas de concreto de diferentes diámetros y bóvedas - construidas con muros de mampostería de piedra y arcos de concreto reforzado, siendo sus posibles dimensiones las mostradas en la fig. 5.22.

En el caso de tuberías trabajando llenas, este factor puede ser expresado en función de su diámetro de la manera siguiente:

Sabemos que:

$$R = \frac{A}{P_m}$$

Pero para este caso  $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$P_m = \pi d$$

Donde : R = Radio hidráulico

A = Area hidráulica

Pm = Perímetro mojado

d = Diámetro de la tubería

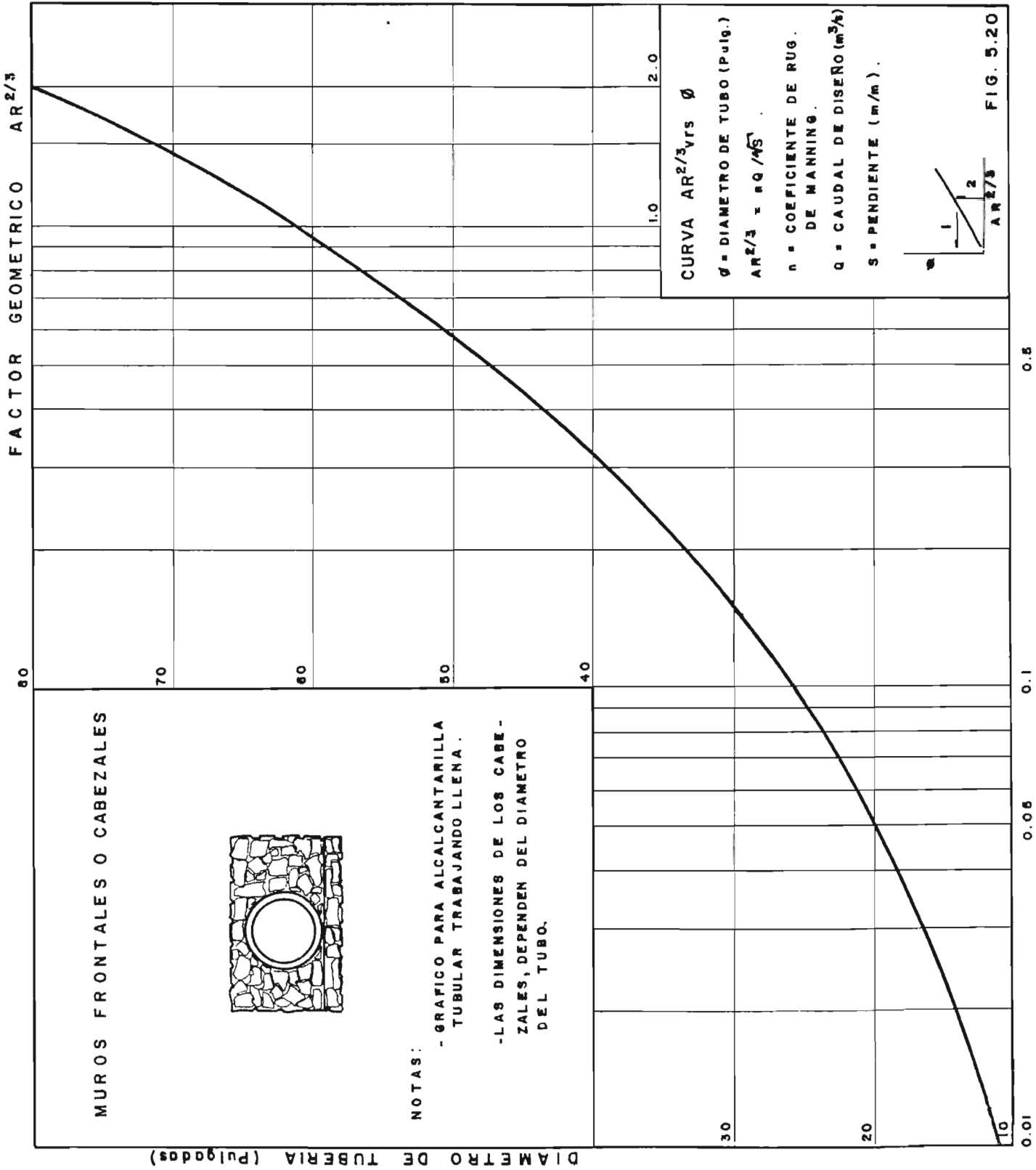
$$\text{Luego: } AR^{2/3} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \left(\frac{1}{4} d\right)^{2/3}$$

$$AR^{2/3} = 4^{-5/3} \pi d^{8/3}$$

Esta expresión, se muestra en forma gráfica en la fig. 5.20 para diferentes diámetros.

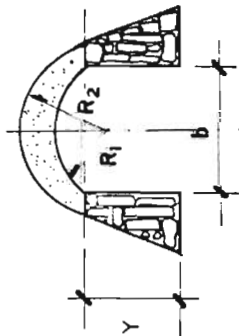
Las alcantarillas tubulares, pueden ser construidas utilizando uno, dos y hasta tres tubos del mismo diámetro, siendo recomendable emplear baterías de hasta dos tubos, ya que con más, pueden ocurrir obstrucciones de la sección, disminuyendo su capacidad hidráulica, ocasionando así un mal funcionamiento de la obra.

Por otro lado, existen restricciones en cuanto a las pendientes (s) a usar, dado que, juega un papel importante en la estimación de la velocidad del agua al pasar por la tubería y ésta debe ser la adecuada para no provocar perturbaciones en la estabilidad de la obra, ni que ocurra sedimentación o desgaste excesivo del cañón. Estas restricciones se presentan en el cuadro siguiente:

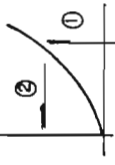


FACTOR GEOMETRICO AR<sup>2/3</sup>

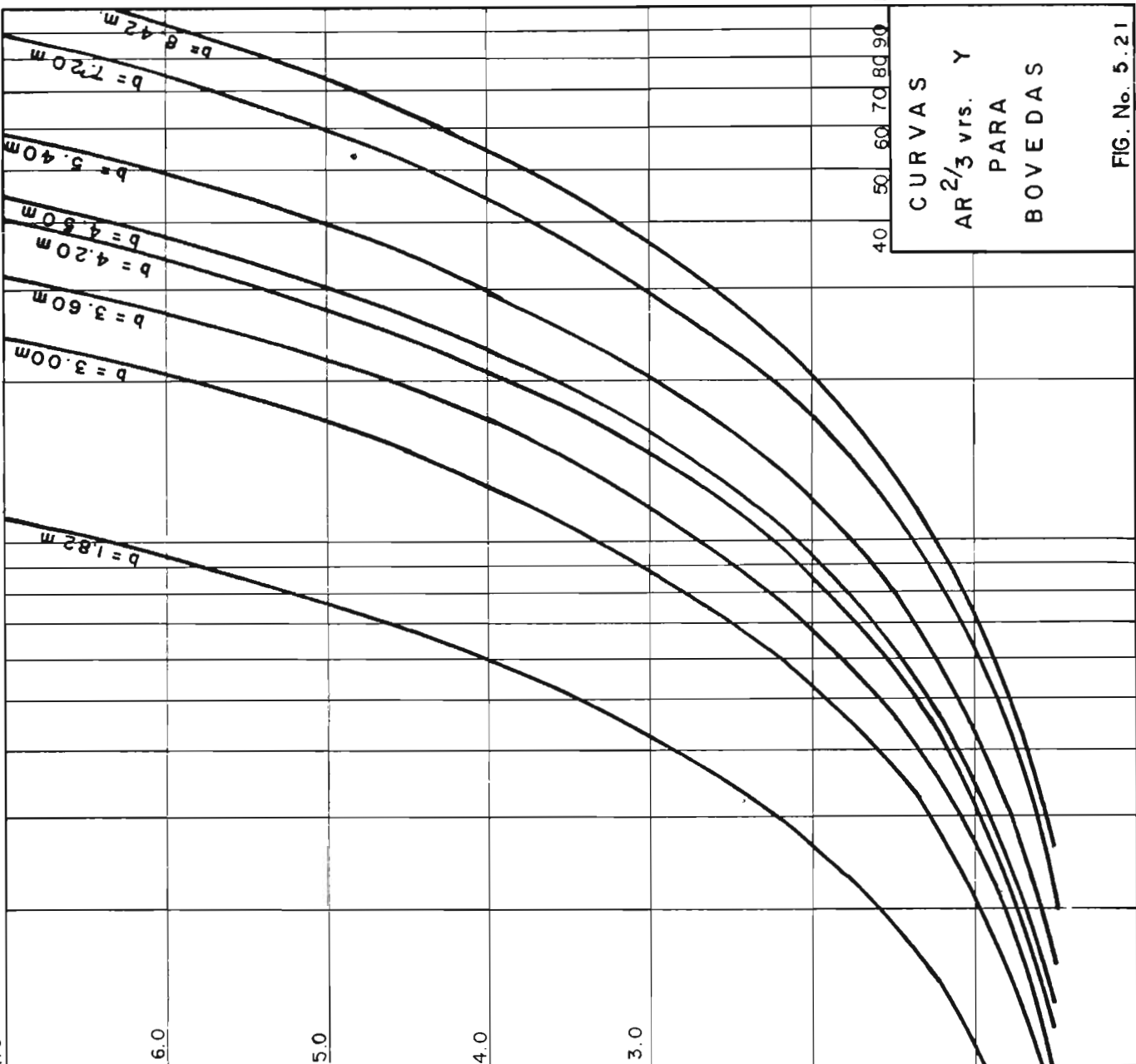
7.0  
6.0  
5.0  
4.0  
3.0



$AR^{2/3} = nQ / \sqrt{s}$   
 $AR^{2/3}$  = FACTOR GEOMETRICO.  
 n = COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING.  
 Q = CAUDAL DE DISEÑO (m<sup>3</sup>/s. )  
 S = PENDIENTE ( m / m ) .  
 Y = TIRANTE MAXIMO ( m )



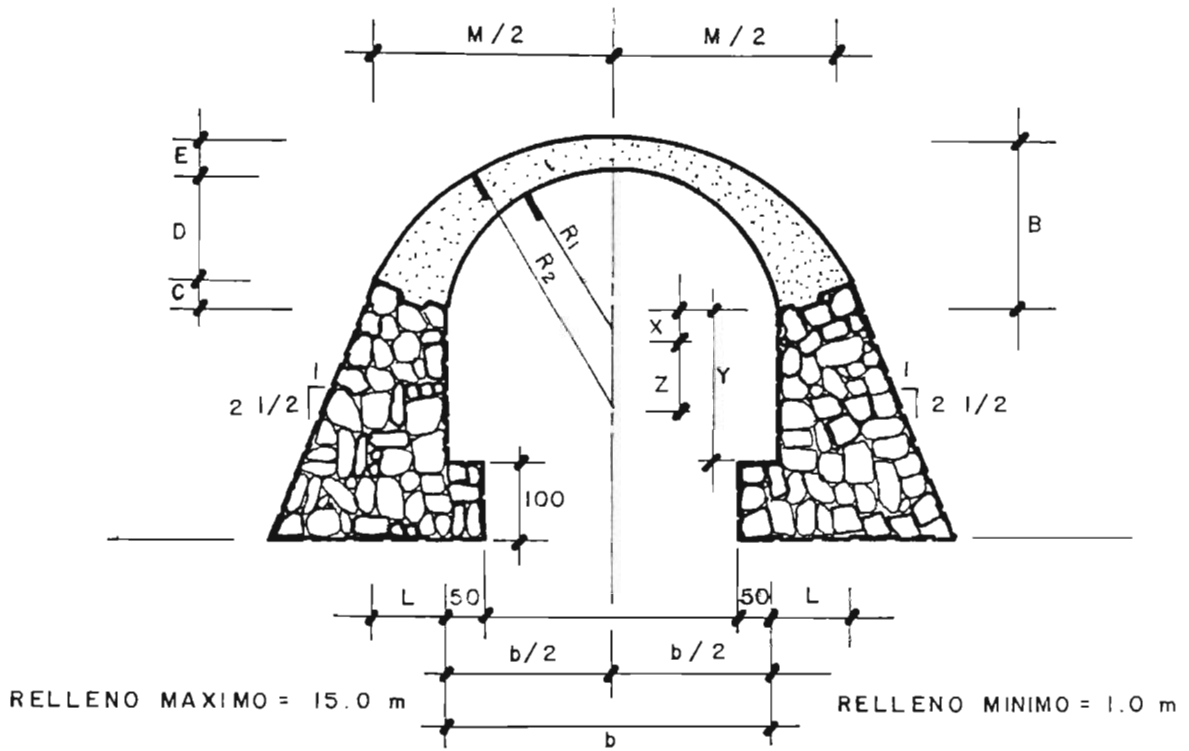
TIRANTE MAXIMO Y. ( M )



CURVAS  
 AR<sup>2/3</sup> vrs. Y  
 PARA  
 BOVEDAS

FIG. No. 5.21

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 20 29 30 40 50 60 70 80 90 100



**DIMENSIONES PARA BOVEDAS TIPO**

B O V E D A S											
COTAS EN Cms. PARA CADA DIAMETRO											
DIAMETRO	b	X	Z	R <sub>1</sub>	R	B	C	D	E	L	M
6'	182	13	30	92	147	104	14	65	25	42	270
10'	300	26	60	152	242	156	24	102	30	65	430
12'	360	32	75	183	293	186	30	122	35	79	518
14'	420	37	90	213	343	216	35	141	40	89	606
15'	450	40	100	229	369	219	39	150	40	98	646
18'	540	48	125	275	445	272	46	181	45	116	772
24'	720	50	150	366	571	371	55	261	55	146	1,016
30'	842	177	150	457	672	345	71	209	65	121	1,084

FIG. No. 5.22

Cuadro 5.4

PENDIENTES Y VELOCIDADES PERMISIBLES PARA  
TUBERIAS CONCRETO

Diámetro Interno		Pendiente(%)		Velocidad Permisible(m/s)	
Pulgadas	Metros	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
18"	0.457	3.6	0.11	3.00	0.579
24"	0.610	1.9	0.08	3.00	0.610
30"	0.762	1.4	0.06	3.00	0.610
36"	0.916	1.1	0.044	3.00	0.610
48"	1.219	0.75	0.032	3.00	0.610
60"	1.524	0.60	0.030	3.00	0.610

Las alcantarillas tubulares deben proveerse de muros frontales o cabezales, con la finalidad de proporcionar estabilidad a la obra; la dimensiones de éstos, dependerán del número de secciones a emplear y a su diámetro.

En el caso de las bóvedas, el factor hidráulico, puede ser expresado en términos del tirante y del ancho de la obra.

Si se considera que el caudal de diseño, será transportado únicamente por la sección formada por los muros de la bóveda (Sección rectangular), quedando el área delimitada por el arco de concreto como margen de seguridad (Ver fig. 5.22), tendremos que:

$$\text{Como } R = \frac{A}{Pm}$$

$$\text{Pero } A = by$$

$$P_m = 2y + b$$

Donde: R = Radio hidráulico (m)

A = Area hidráulica (m<sup>2</sup>)

P = Perímetro mojado (m)

y = Tirante máximo para condición normal (m)

b = Ancho de la bóveda (m)

$$\text{Sustituyendo: } R = \frac{by}{2y + b}$$

$$\text{Luego: } AR^{2/3} = by \left( \frac{by}{2y + b} \right)^{2/3}$$

De las bóvedas tipo, se conoce b para cada tamaño recomendable, por lo tanto el Factor Geométrico puede ser expresado únicamente en función del tirante máximo; por ejemplo para una bóveda de 14' (b = 4.2 mt.), tenemos:

$$AR^{2/3} = 4.2y \left( \frac{4.2y}{2y + 4.2} \right)^{2/3}$$

Al dar valores a y en esta expresión, se genera la curva mostrada en la fig. 5.21. Las demás curvas han sido obtenidas de la misma forma, empleando su respectivo valor de b.

Este tipo de Obra de Arte, pueden ser usadas en forma combinada de dos y hasta tres claros.

### 5.3.3.1 Procedimiento para el Predimensionamiento Hidráulico

El procedimiento a seguir, para la realización del predimensionamiento hidráulico mediante la utilización de esta metodología es el siguiente:

- i) Seleccionar el tipo de estructura a utilizar, en base a las características del cauce en el sitio de paso y el caudal de diseño generado.
- ii) Establecer el coeficiente de rugosidad de Manning y la pendiente media del cauce mediante el análisis del perfil longitudinal del cauce en un tramo de 200 mt, 100 mt aguas arriba y 100 mt. aguas abajo del eje de la vía. Estos dos valores (n y s) deben ser obtenidos en base a observaciones de campo y levantamiento topográfico del sitio de cruce.
- iii) Calcular el Factor Geométrico mediante la expresión:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{s^{1/2}}$$

Donde:

$AR^{2/3}$  = Factor Geométrico

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Q = Caudal de diseño, obtenido de un estudio hidrológico de la zona ( $m^3/s$ )

S = Pendiente media del cauce.

- iv) Entrar en el gráfico correspondiente al tipo de obra con el valor de  $AR^{2/3}$  y leer el respectivo valor del diámetro

o tirante máximo.

Cuando el tipo de bóveda aquí mostrado, no satisfaga las restricciones estructurales, económicas, etc.; pueden usarse bóvedas parabólicas de concreto reforzado.

En el caso que sea necesario construir un puente como obra de cruce, debe establecerse el nivel máximo que alcanzará el agua para un caudal de diseño determinado.

El nivel de aguas máximas (N.A.M.), puede ser obtenido aplicando un proceso iterativo con las ecuaciones de Continuidad y Manning o mediante la elaboración de la curva  $AR^{2/3}$  vrs h.

## "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

En el transcurso de este trabajo, se han expuesto los diferentes métodos empleados en el país para el análisis de crecidas, así como una descripción de los diferentes parámetros que intervienen en este tipo de estudio. Además, se han incluido metodologías para la cuantificación en forma rápida y sencilla de algunos parámetros.

En base a los resultados obtenidos y a todo lo aquí expuesto, pueden darse las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### Conclusiones

- El grado de confiabilidad que el modelo generado posee, puede ser considerado como aceptable, ya que su rango de variación oscila entre el 80% y 95%.
- El tiempo de concentración, es uno de los parámetros de mayor incidencia en el análisis de crecidas y es influenciado por la forma de la cuenca.

La agrupación de cuencas generada en este trabajo, tiene por objeto efectuar una mejor cuantificación del tiempo de concentración y puede considerarse como razonable ya que las ecuaciones obtenidas para su estimación, proporcionan datos aceptables.

- La forma de cuantificar la precipitación por medio de las curvas Area-Profundidad de Precipitación-Duración, genera datos confiables para el análisis de crecidas, ya que éstas hacen una distribución en el espacio y tiempo de la lluvia.
- En términos generales, el modelo generado, funciona para cuencas mayores de 10 km<sup>2</sup> y menores de 100 km<sup>2</sup>; duraciones de tormenta de 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 minutos y períodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

#### Recomendaciones

- Este modelo, debe tomarse como una primera iteración, para investigaciones más detalladas que deben efectuarse en el país.
- El modelo generado, debe ser utilizado para estudios a nivel de pre-factibilidad y factibilidad técnica y económica; mientras no se desarrolle una comprobación más depurada, no debe emplearse para diseños finales de ingeniería.
- Para mejorar la confiabilidad del modelo, deben efectuarse investigaciones más detalladas, sobre los parámetros de mayor incidencia en el análisis de crecidas, como lo son el tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía y la cuantificación de la precipitación, la cual pue-

de mejorarse, desarrollando una regionalización del país en cuanto a la cobertura de la lluvia.

- La agrupación de cuencas aquí desarrollada, opera únicamente para cuencas menores de  $100 \text{ km}^2$ , quedando excluidas una serie de cuencas de mayor magnitud y que puede llegar a ser necesario su análisis. Esto conlleva, a la necesidad de realizar estudios similares para cuencas mayores.

## GLOSARIO

### - AVENIDA MAXIMA:

Volumen máximo de agua por unidad de tiempo que puede circular por un punto dado de un cauce para un período de retorno establecido como respuesta de la cuenca ante un estímulo de la precipitación. Suele llamarse también: Caudal Máximo, Crecida Máxima, Caudal de Diseño, etc.

### - CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS:

Características físicas que dependen de las condiciones geográficas del área en estudio.

### - CUENCA:

Superficie tal que la precipitación caída sobre ella, pasa directamente a las corrientes superficiales o subterráneas que forman la red de drenaje del sistema hidrológico analizado. El contorno que define dicha superficie se conoce como "parte agua" que es una línea imaginaria la cual es definida por una serie de puntos de mayor elevación.

### - DENSIDAD DE DRENAJE (Dd):

Es la relación, entre la longitud total de los cursos de agua (efímeros, intermitentes y perennes) de una cuenca(Li) y el área total de la misma.

- ESCORRENTIA:

Cantidad de agua que circula por un punto dado como producto de la precipitación. Su trayectoria permite clasificarla en: Escorrentía Superficial, Sub-Superficial y Subterránea.

- EXTENSION SUPERFICIAL (ES):

Este parámetro indica, la distancia media en línea recta - que el agua precipitada, tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua. Su valor, está dado por la relación:

$$Es = \frac{A}{2Li}$$

Donde: A = Area de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Li = Longitud total de los cauces de la cuenca (km)

- FACTOR DE FORMA (Ff):

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (Am) y la longitud del cauce más largo. El ancho medio, se obtiene dividiendo el área de la cuenca (A) entre la longitud del cauce más largo (L).

$$Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L}$$

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Una cuenca con factor de forma bajo, está sujeta a generar crecidas menores que otra del mismo tamaño con factor de forma mayor.

- FACTOR DE COMPACIDAD O INDICE DE GRAVELIUS (Fc):

Constituye la relación sobre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área es igual a la de la cuenca en estudio.

$$F_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \qquad F_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$$

Donde: P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Area de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Una cuenca se aproxima a una forma circular, cuando el valor Fc se acerca a la unidad. Si este coeficiente fuese igual a la unidad, existirían mayores oportunidades de crecidas, debido a que los tiempos de concentración (Tc), de los diferentes puntos de la cuenca serían iguales. Generalmente en cuencas muy alargadas el valor de Fc es mayor que 2.0.

- INTENSIDAD:

Cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo (mm/min) en una tormenta para una duración determinada.

- ISOLINEA DE INTENSIDAD:

Línea con igual intensidad de lluvia para una misma duración y período de retorno.

- LONGITUD DEL CAUCE:

Es la distancia de la proyección en un plano horizontal del cauce principal de una cuenca.

- MODELO DE ESCURRIMIENTO:

Idealización del comportamiento del escurrimiento de una cuenca.

- PERIODO DE RETORNO:

Tiempo en años para el cual un evento extremo puede ocurrir nuevamente.

- PRECIPITACION:

Aguas meteóricas que caen en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida como sólida.

- PRECIPITACION CONVECTIVA:

Se produce como resultado del calentamiento de la capa superficial del aire, por lo cual éste se ve forzado a subir a través de capas superiores más pesadas y frías. Ordinariamente esto hace subir el aire sólo un centenar de metros, puesto que el aire se enfría en una relación que es hasta dos veces superior a la disminución normal vertical de la temperatura. Sin embargo, si en este punto se inicia una condensación abundante, entonces se libera el calor de con-

densación y esta nueva fuente de energía hace que el aire sea forzado a seguir subiendo hasta encontrar un estrato que sea de su propia temperatura y densidad.

- PRECIPITACION OROGRAFICA:

El aire puede ser forzado a ascender cuando en su camino se le interponen barreras constituidas por la forma de la tierra puesto que el vapor de agua está enormemente confinado a las capas más bajas de la atmósfera, las lluvias orográficas fuertes resultan en el ascenso (Barlovento) mientras que el Sotavento de dicha barrera, donde el aire desciende y se enfría, normalmente suele ser una zona árida o semi árida. La condición ideal para las lluvias orográficas se presentan en los lugares donde existe una larga cadena montañosa a lo largo de la costa (zona costera).

- PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (S):

Se representa, por la relación existente entre la diferencia de elevaciones de la cuenca y la raíz cuadrada de su área, expresada en porcentaje (%).

$$S = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}}$$

Donde: Hmax = Elevación máxima de la cuenca (msnm)

Hmin = Elevación mínima de la cuenca (msnm)

A = Area de la cuenca (m<sup>2</sup>)

- RECTANGULO EQUIVALENTE:

Rectángulo con igual área, perímetro y factor de compacidad que la cuenca en estudio. Se trata de una transformación puramente geométrica de la cuenca; sus dimensiones, deben calcularse mediante las expresiones siguientes:

$$L = \frac{Fc \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1.12}{Fc}\right)^2} \right]$$

$$\lambda = \frac{Fc \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Fc}\right)^2} \right]$$

Donde: Fc = Factor de Compacidad

A = Area de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L = Lado largo del rectángulo (km)

$\lambda$  = Lado corto del rectángulo (km)

Debe verificarse que:

$$L + \lambda = P/2 \text{ (Semiperímetro)}$$

$$L \cdot \lambda = \text{Area de la cuenca}$$

- TIEMPO DE CONCENTRACION:

Es la duración necesaria, para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de una cuenca, llegue al sitio de análisis.

## ANEXO A

### ANALISIS DE LA RELACION AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION-DURACION (A-P-D)

Para obtener resultados aceptables en un análisis de crecidas, es de vital importancia efectuar una buena estimación de las cantidades de lluvia precipitada para una duración determinada.

Esta tarea resulta muy difícil de efectuar, ya que si se tienen estaciones pluviográficas localizadas en la cuenca o próximas a ella, éstas proporcionan datos puntuales de precipitación y no la distribución de ésta en el área estudiada, ni su distribución en el tiempo.

El propósito de las curvas Area-Profundidad de Precipitación-Duración (A-P-D), es estimar las cantidades de lluvia caída para un área determinada y su distribución en el tiempo.

La metodología a seguir para su elaboración, se presenta a continuación:

- 1) Se recopilan todos los datos de lluvia dentro del área de la tormenta analizada.
- 2) Se limita el área de la tormenta de acuerdo a la lluvia y no por divisiones políticas.

- 3) Debe disponerse de la ubicación precisa de las estaciones utilizadas en el análisis.
- 4) Se asignan límites preliminares en el tiempo y el espacio a la tormenta, usando los valores diarios de lluvia. Los límites verdaderos se fijan en base a las curvas de masa.
- 5) De la observación de los datos diarios de lluvia, se conoce el comienzo y finalización de la tormenta.
- 6) Para determinar el área de cobertura de la tormenta, se plotea un mapa isoyético. Por inspección visual se fijan los límites naturales de la tormenta en la forma de una isoyeta circundante.
- 7) Se evalúa la lluvia acumulada o curva de masa para las estaciones involucradas en el análisis.
- 8) Se elabora el Mapa Isoyético total de la tormenta, en base a las curvas masa y se toma la decisión final sobre los límites de la tormenta y las horas de comienzo y finalización.
- 9) Se divide el mapa Isoyético total en zonas. Por conveniencia, los límites de las zonas deben ajustarse tanto como sea posible, a los centros de lluvia principales.
- 10) Se elige el intervalo de tiempo que proporcione los incrementos de lluvia más apropiados para el análisis de A-P-D.
- 11) Una vez seleccionados los centros de lluvia, se calcula la precipitación promedio, empleando el método de las isoyetas, para cada uno de ellos.

- 12) Se trazan los polígonos de Thiessen, para las estaciones involucradas en el análisis.
- 13) Se calculan las áreas de influencia de los polígonos de Thiessen sobre cada isoyeta, para cada centro de lluvia del área en estudio.
- 14) Se calcula el área total de influencia de cada centro de lluvia y su respectiva precipitación acumulada, para las duraciones en estudio. La precipitación acumulada, es la suma del porcentaje de precipitación que influyen las estaciones aledañas, calculados por medio de los polígonos de Thiessen.
- 15) Calcular el factor de corrección para las precipitaciones acumuladas para cada duración. Este factor se calcula dividiendo la precipitación media calculada por el método de las isoyetas para el centro de lluvia, entre la precipitación acumulada para la mayor duración.
- 16) Se realiza la corrección a la precipitación acumulada mediante el factor anterior (Prec.Acum. x Factor).
- 17) Se construye la curva área-profundidad de precipitación-duración, para cada duración seleccionada.

## ANEXO B

### DETERMINACION DE LAS CURVAS A-P-D Y ANALISIS DE LA PRECIPITACION DE LOS DIAS 27 Y 28 DE AGOSTO DE 1988.

En esta investigación, se ha tomado como lluvia patrón la ocurrida los días 27 y 28 de agosto de 1988. Por lo que para este evento, se realizaron análisis encaminados a determinar su período de retorno, cobertura y las curvas A-P-D.

De estos análisis, puede decirse que dicho evento, posee un período de retorno de 10 años, empleándose para su determinación los registros de las estaciones El Papalón, Santa Cruz - Porrillo y Acajutla.

Por otro lado, en base al mapa isoyético mostrado en la figura B.1, la cobertura de este evento divide al país en dos regiones, Región I y II, para las cuales, se han desarrollado las curvas A-P-D, siendo éstas mostradas en las figs. B.2 y B.3, respectivamente.

Tomando como referencia la cobertura de este evento, y en base a los mapas de Isolíneas de intensidades máximas, para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años y duración 180 minutos que se muestra en las figs. B.4, B.5 y B.6 y empleando la metodología presentada en el Anexo A, se trazaron las curvas A-P-D mostradas en las figs. B.7 y B.8 para cada región.

**CURVA AREA - PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION - DURACION TEMPORAL DEL 25-31 DE AGOSTO DE 1988**

**REGION I  
AGOSTO**

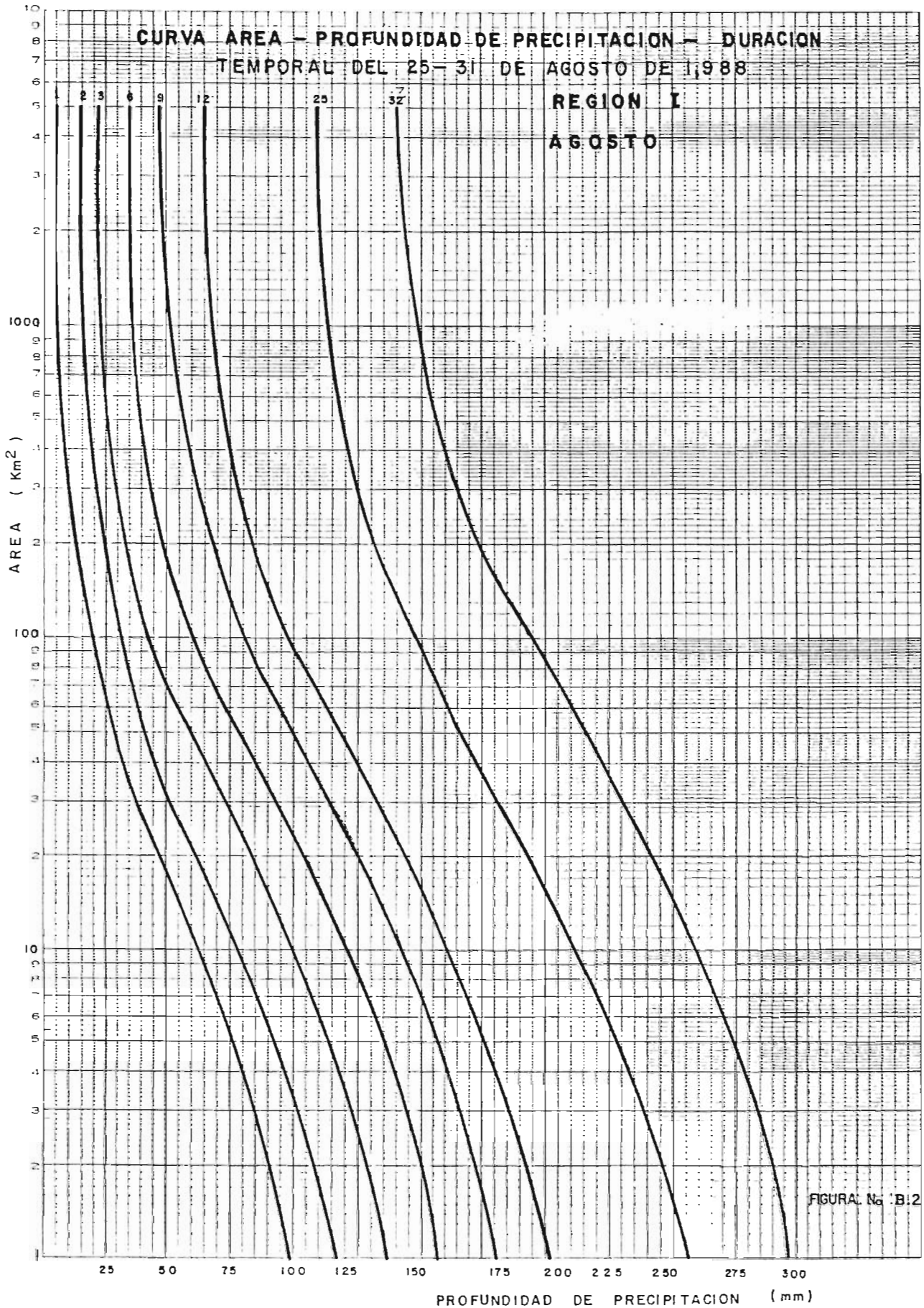


FIGURA No. B:2

DIETZGEN CORPORATION  
MADE IN U.S.A.

NO. 340-L-410 DIETZGEN GRAPH PAPER  
SEMI-LOGARITHMIC  
4 CYCLES X 10 DIVISIONS PER INCH

PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION ( mm )

CURVA AREA - PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION - DURACION

TEMPORAL DEL 25-31 DE AGOSTO DE 1,988

REGION II

AGOSTO

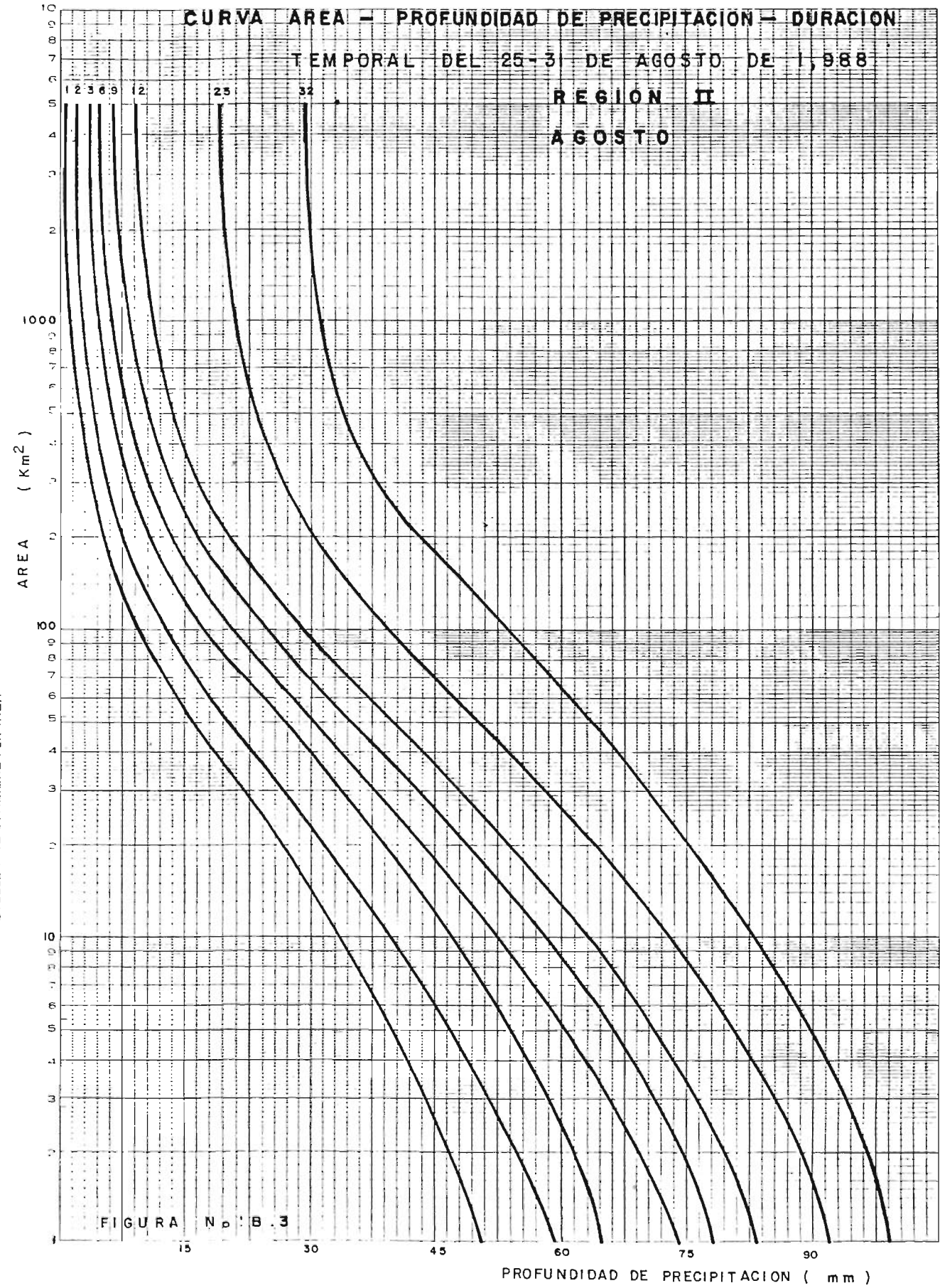


FIGURA N.º B.3

4 CYCLES X 10 DIVISIONS PER INCH

**CURVA AREA - PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION - DURACION**

**ZONA II**

**SIMBOLOGIA**

CLAVE	PERIODO DE RETORNO
(Solid line)	10 ANOS
(Dashed line)	25 ANOS
(Dotted line)	50 ANOS

DURACION	CURVA
30	1
45	2
60	3
90	4
120	5
150	6
180	7

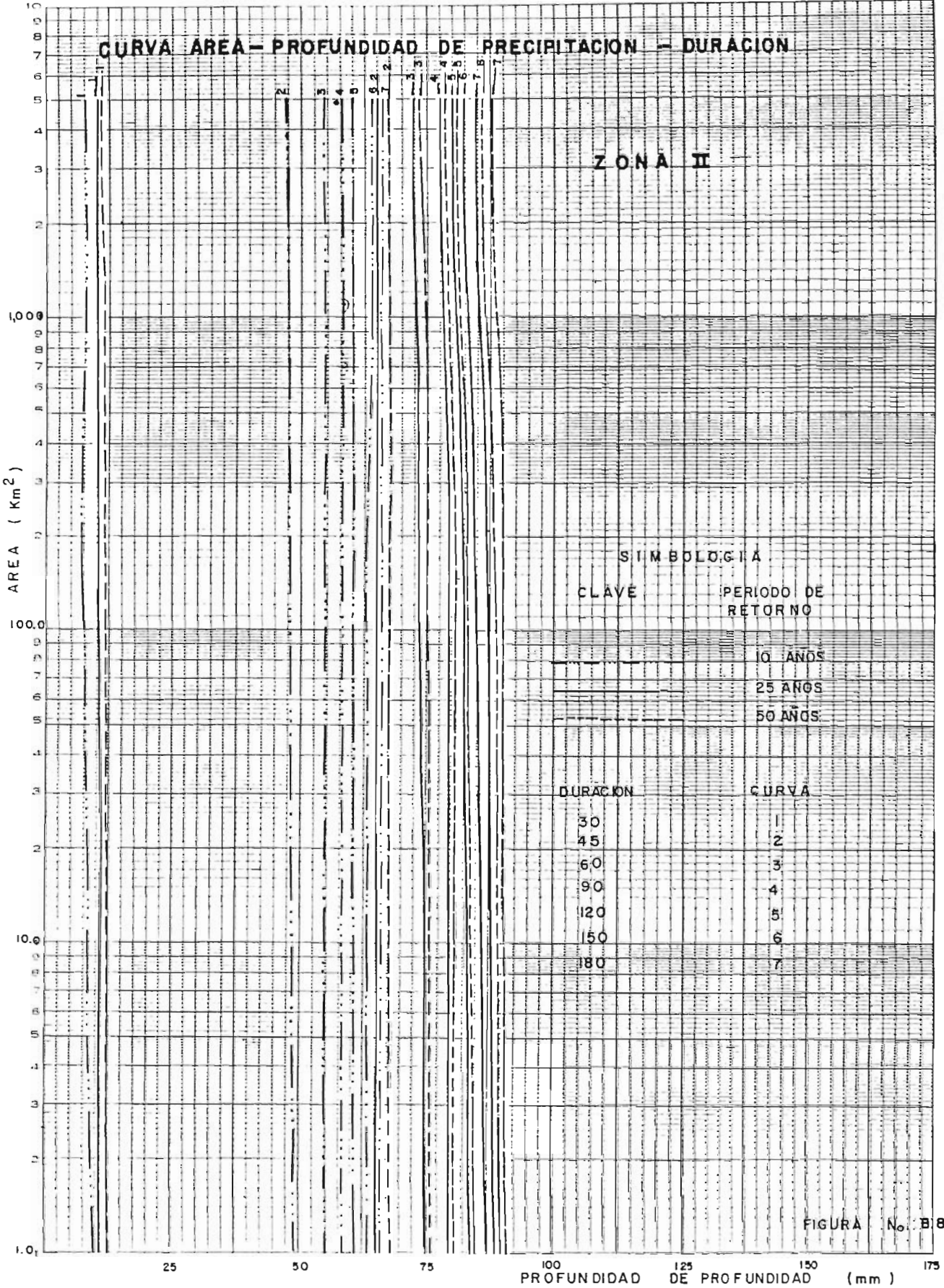


FIGURA No. B18

1 CYCLES X 10 DIVISIONS PER INCH

25 50 75 100 125 150 175  
 PROFUNDIDAD DE PROFUNDIDAD (mm)

## BIBLIOGRAFIA

- MANUAL DE HIDROLOGIA  
TOMOS I, II, III y IV  
Rafael Heras  
Dirección General de Obras Hidráulicas  
Centro de Estudios Hidrológicos  
Madrid, España.
- HANDBOOK OF APPLIED HYDROLOGY  
Ven Te Chow  
Mc Graw-Hill Book Company  
United States of America  
1964
- HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS  
Ven Te Chow  
Editorial Diana  
México  
1983
- HIDROLOGIA PARA INGENIEROS  
Ray K. Linsley, Jr; Max A. Kohler; Joseph L.H.Paulhus  
Mc Graw-Hill  
México  
1984
- CALCULO HIDROMETEOROLOGICO DE CAUDALES MAXIMOS EN PEQUEÑAS  
CUENCAS NATURALES  
José R. Temez Pelaez  
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo  
Dirección General de Carreteras  
España  
1978
- DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS  
United States Department of the Interior  
Boureau of Reclamation  
Compañía Editora Continental  
México  
1967
- TRATADO DE HIDROLOGIA APLICADA  
G. Remenieras  
Editores Técnicos Asociados S.A.  
España  
1974

- ESTUDIO HIDROLOGICO BASICO DE LA CUENCA DEL RIO PAZ  
Rubén Augusto Estrada Girón  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Guatemala, C.A.  
1970
- ASSESMENT OF THE MAGNITUDE AND FREQUENCY OF FLOOD FLOWS  
Water Resources Series N° 30  
World Meteorological Organization  
Uniten Nations  
New York  
1967
- EVALUACION CUANTITATIVA DEL RIESGO DE DESATRE POR CICLONES  
EN EL SALVADOR  
Ing. Juan José Victoria  
Ministerio de Agricultura y Ganadería  
Dirección General de Recursos Naturales Renovables  
Servicio Hidrológico Nacional  
El Salvador, C.A.
- PRECIPITACION, FORMACION, MEDICION Y ANALISIS DE DATOS  
Roberto A. Duque C.  
CIDIAT  
Mérida-Venezuela  
1980
- MANUAL DE CAMINOS VECINALES  
Asociación Mexicana de Caminos  
René Etcharren Gutiérrez  
México  
1986
- ATLAS DE EL SALVADOR  
Ministerio de Obras Públicas  
Instituto Geográfico Nacional "Ing. Pablo Arnoldo Guzmán"  
El Salvador, C.A.  
1979
- DICCIONARIO GEOGRAFICO DE EL SALVADOR  
TOMOS: I, II y III  
Ministerio de Obras Públicas  
Instituto Geográfico Nacional "Ing. Pablo Arnoldo Guzmán"  
El Salvador, C.A.  
1970
- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (HIDROMETRIA)  
PREDICCIÓN DE AVENIDAS  
Comisión Federal de Electricidad  
México  
1980

- ESTUDIO SOBRE EL CLIMA EN LA CUENCA DEL RIO LEMPA  
Universidad de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
José Humberto Guzmán . Luna  
El Salvador  
1974
- DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING  
PARA RIOS DE EL SALVADOR  
Universidad de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
Jorge Arias Gómez h.  
El Salvador  
1976.
- DISEÑO HIDRAULICO DE OBRAS DE DRENAJE MENOR EN CARRETERAS  
Universidad de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
Jaime A. Erazo Gómez; Marbel Antolín Vásquez R; y América  
Leonor Huevo Mejía  
El Salvador  
1980
- REGLAMENTO PARA LA DISPOSICION DEL DRENAJE PLUVIAL URBANO  
Universidad de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
Fernando de Jesús Lemus González  
El Salvador  
1985
- EXPLOTACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO EN EL SALVADOR  
Universidad de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
Luis Alberto Sandoval Ortiz y Miguel A. Guevara Pineda  
El Salvador  
1980
- CALCULO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS  
Universidad Politécnica de El Salvador  
Trabajo de Graduación  
José Antonio Sánchez V. y Julio Iván Sánchez  
El Salvador  
1985.