

37/122



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL
RIO TURBIO, GTO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A

SERGIO JOSE MARTINEZ GRACIDA NAVARRO

MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL

AVENIDA

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-227

Señor SERGIO JOSE MARTINEZ GRACIDA NAVARRO,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Florentino Mejía Chávez, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL
RIO TURBIO, GTD."

1. Antecedentes históricos e introducción.
2. Información general.
3. Hidrología.
4. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 15 de noviembre de 1983
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

@
OARCH/RCCH/ser

I N D I C E

	Página	
I.	Introducción	1
I.1	Antecedentes Históricos de la Hidrología	3
II.	Información General	7
II.1	Generalidades	7
II.2	Aspectos Socioeconómicos	8
III.	Hidrología	10
III.1	Definición de Hidrología	10
III.2	Importancia de la Hidrología	10
III.3	Ciclo Hidrológico	11
III.4	Características Principales del Río Turbio	12
III.4.1	Localización Geográfica y Area	12
III.4.2	Longitud del Cauce	13
III.4.3	Pendiente del Cauce	13
III.4.4	Clima	14
III.4.5	Tipos y Usos del Suelo	15
III.5	Precipitación	15
III.6	Análisis de Escurrimientos	17
III.7	Relación Lluvia Escurrimiento	22
III.8	Problemática de Inundaciones	30
III.8.1	Resumen de Inundaciones en la Cuenca	31
III.8.2	Acciones Preventivas a Centros de Producción y de Población	32

III.9	Estructuras y Obras de Protección Contra Inun daciones	35
IV.	Conclusiones	37
	Referencias	39

I INTRODUCCION Y ANTECEDENTES HISTORICOS

DE LA HIDROLOGIA

INTRODUCCION

En la cuenca del Río Turbio, se encuentran asentadas ciudades importantes como León, San Fco. del Rincón, San Diego, Manuel Doblado, Cuernavaca, Pénjamo y Abasco, en las cuales los sectores agrícolas, urbanos e industriales se ven afectados por las inundaciones que se generan constantemente provocadas por los desbordamientos de los arroyos y el propio Río Turbio a través de su desarrollo en la cuenca.

Ante esta problemática, se realizó el estudio hidrológico para períodos de retorno de 5,10,15 y 50 años con el objeto de evaluar los escurrimientos en la cuenca del Río Turbio en las estaciones hidrométricas "Guajal II", "Las Adjuntas" y la confluencia con el Río Lerma para definir algunas acciones preventivas para protección a centros productivos y de población.

Es importante señalar, que en los problemas de inundaciones los daños son mayores que los beneficios y por lo tanto, se tiende a reducir o evitar los efectos de las mismas y en ello, se pueden tomar acciones de dos clases: indirectas y directas. Las acciones indirectas, son aquellas que no interfieren con los escurrimientos de un río ni lo modifican, pero permiten prever las inundaciones. Las acciones directas, son aquellas que interfieren directamente con los escurrimientos de los ríos, ya sea almacenándolos, desviándolos o evitando que pasen por determinados lugares.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos, el primero de ellos trata los antecedentes históricos de la Hidrología a través del tiempo, el

siguiente capítulo muestra información general del Estado de Guanajuato.

En el tercer capítulo se hace mención de las diferentes definiciones de Hidrología, la importancia de la misma, las características principales de la cuenca del Río Turbio, así como los diferentes análisis que se realizaron para este trabajo. El último capítulo se refiere a las conclusiones de la presente tesis.

I.1 ANTECEDENTES HISTORICOS DE LA HIDROLOGIA

En la Historia de la Hidrología, se han escrito muchas palabras, entre éstas, el trabajo desarrollado por Meinzer es el más extenso: en general la descripción histórica de la Hidrología puede ser vista a través de una serie de períodos.

A. Período de Especulación (de la antigüedad al año 1400)

Desde tiempos antiguos, el concepto del ciclo hidrológico fué especulado por muchos filósofos. Entre algunos de éstos, Homero creía en la existencia de grandes almacenamientos subterráneos los cuales formaban ríos-mares y manantiales profundos.

Durante el primer siglo A.C., Marcus Vitruvius en el volumen VIII de su Tratado de Arquitectura, expresó una teoría generalmente considerada el antecedente de los conceptos del ciclo hidrológico. La hipótesis en que se basó, fué que la lluvia y la nieve caen en áreas montañosas infiltrándose en la superficie terrestre y apareciendo más tarde en las partes bajas en forma de corrientes naturales y manantiales.

Sin embargo, durante este período a pesar de éstas teorías inciertas, la aplicación práctica de varios principios hidrológicos fueron con frecuencia sucesos considerables. Por ejemplo, alrededor del año 400 A.C., fué construída una presa a través del río Nilo para permitir la recuperación de suelos agrícolas; en Egipto los proyectos de irrigación; en la India los proyectos de abastecimiento y drenaje; los sistemas de irrigación, canales y obras de control de avenidas en China.

B. Período de Observación (1400 - 1600)

En el período conocido como el Renacimiento, fué perceptible un cambio -

gradual en los conceptos filosóficos de la Hidrología.

Por ejemplo, Leonardo De Vinci y Bernard Palissy, con base a observaciones lograron un correcto entendimiento del ciclo hidrológico, especialmente la infiltración de la lluvia y el retorno de ella a través de las corrientes naturales.

C. Período de Medición (1600 - 1700)

La ciencia moderna de la Hidrología se puede considerar con el inicio de mediciones en el siglo XVII. Por ejemplo, Pierre Perrault midió la lluvia y la evaporación en la cuenca del Río Sena; Edme Mariotte, calculó los gastos del mismo río midiendo la velocidad y la sección transversal.

Durante este período, el estudio del agua artesiana fué precedida por los avances en la ciencia de la Geología. Los pioneros en tales estudios incluyen a Giovanni Cassini, Bernardini Ramazzini y Antonio Vallignieri.

D. Período de Experimentación (1700 - 1800).

El siglo XVIII, aportó numerosos avances en la teoría hidráulica y la instrumentación. El piezómetro de Bernoulli, el tubo de Pitot, el medidor de Woltman, los modelos a escala de Smeaton, el tubo de Borda, el teorema de Bernoulli y la fórmula de Chezy son algunos ejemplos notables. Dichos avances aceleraron grandemente el comienzo de los estudios con una base más cuantitativa.

E. Período de Modernización (1800 - 1900)

En este siglo, floreció la Hidrología Experimental, se realizaron significativos avances en los estudios del agua subterránea y en la medición-

del agua en la superficie.

En el campo del agua subterránea, el conocimiento de la Geología fué aplicado por primera vez por William Smith en la solución de problemas hidrológicos. También se realizaron avances importantes en algunos conocimientos básicos, ~~entre los cuales se incluyen:~~ la ecuación de capilaridad de Poiseuille, la ley de Darcy y el teorema de Thiém.

En el campo del agua superficial, la hidrometría tuvo grandes adelantos en el desarrollo de algunas fórmulas e instrumentos de medición. Ejemplos de estos adelantos son: la fórmula de Francis, la determinación del coeficiente de Chezy y la ecuación de Manning.

F. Período de Empirismo (1900 - 1930)

Si bien, muchos trabajos en la era moderna de la Hidrología fueron ejecutados, el desarrollo de ésta fué todavía inmaduro. La Hidrología como ciencia fué en gran parte empírica, dado que las bases físicas para una mayor cuantificación no fueron bien definidas. Durante la última parte del siglo y los siguientes 30 años o más, el empirismo fué más evidente. Cientos de fórmulas fueron propuestas y la selección de sus coeficientes y parámetros tuvo que depender del juicio y experiencia de los hidrólogos e ingenieros.

G. Período de Racionalización (1930 - 1950)

Durante este período, surgieron grandes hidrólogos que usaron el análisis racional en lugar del empirismo.

En 1932, Sherman realizó un avance diferente mediante el uso del Hidrograma Unitario. Horton, en 1933 inició la más afortunada aproximación -- hasta la fecha en problemas de lluvia en exceso. En 1935, Theis introdu-

jo la teoría del "no equilibrio", la cual revolucionó los conceptos hidráulicos de pozos. Gumbel, en 1941 propuso el uso de la distribución de valores extremos para el análisis de frecuencia de datos hidrológicos.-- En 1950, Einstein desarrolló la teoría de carga de fondo, en la cual introdujo el análisis teórico para estudios de sedimentación.

H. Período de Teorización (1950 - a la fecha)

Desde 1950, se han utilizado las teorías en problemas de Hidrología con principios racionales y éstos han sido sujetos rápidamente al análisis matemático. Las computadoras están siendo utilizadas para resolver ecuaciones relacionadas con problemas de Hidrología.

Los conceptos modernos de la Mecánica de Flúidos ha ayudado grandemente al desarrollo teórico de la Hidrología. Algunos de estos ejemplos son :- la aplicación de la teoría de transferencia de masa y energía para el -- análisis de evaporación, los estudios de análisis lineal y no lineal de sistemas hidrológicos, la generación secuencial de datos y el aprovechamiento y diseño de los recursos hidráulicos.

II INFORMACION GENERAL

II. 1 GENERALIDADES

El Estado de Guanajuato se localiza geográficamente en la parte central de la República Mexicana, entre los paralelos $19^{\circ} 58'$ y $21^{\circ} 51'$ de Latitud Norte y los meridianos $99^{\circ} 41'$ y $102^{\circ} 04'$ de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Colinda al Norte con San Luis Potosí; al Sur con Michoacán; al Este con Querétaro y al Oeste con Jalisco. Por sus $30\,491\text{ Km}^2$ de extensión, ocupa el vigésimo segundo lugar entre las entidades federativas del país y cubre el 1.55% del total.

Políticamente se divide en 46 municipios, en ellos se asientan un total 6 028 localidades. Los municipios con mayor concentración poblacional son en orden de importancia : León, Irapuato, Celaya y Salamanca, éstos concentran más de la tercera parte de la población del Estado (Figura 1).

El sistema hidrográfico, pertenece a la Vertiente del Océano Pacífico, destaca en ella el Río Lerma que es la corriente principal y sirve de límite con Michoacán y a su paso riega la extensa zona agrícola del Bajío. La superficie de la cuenca del Río Lerma, esta integrada dentro del Estado por sus afluentes principales, entre los que podemos citar; el Río de la Laja, el Guanajuato - Silao, el Turbio, el Temascalío y el Acámbaro.

Por otra parte, los almacenamientos existentes en el Estado, sobresalen por su capacidad; la presa Solís construida sobre el Río Lerma con 980 Mm^3 para riego y control de avenidas; la Laguna de Yuriria con capacidad de 221 Mm^3 ; la presa Ignacio Allende ubicada sobre el Río de la Laja con capacidad para 196 Mm^3 para riego y control de avenidas; la Purísima sobre el Río Guanajuato con capacidad para 195 Mm^3 con fines de riego y --

control de avenidas y finalmente la Gavia sobre el Río La Ilave con 118 Mm³ para control de avenidas exclusivamente.

Respecto a la orografía, el Estado se localiza entre las provincias fisiográficas denominadas Mesa del Centro y Eje Neovolcánico. La zona del Bajío se caracteriza por sus amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas la mayoría de naturaleza volcánica. Las llanuras de mayor extensión (de carácter aluvial), se encuentran en la zona de Llanos de Ojuelos. Los sistemas montañosos están formados por las penetraciones de la Sierra de Zacatecas. En el Noroeste se encuentra la Sierra Gorda; en el centro la Sierra de Guanajuato; en el Suroeste la Sierra de Pénjamo y en el Sureste la de los Agustinos.

En 1980, las tierras con vocación agrícola ascendieron a 1 211 500 Has., predominando la agricultura de temporal, ya que menos de la tercera parte son consideradas de riego.

La actividad ganadera desarrollada en casi todo el Estado, ascendió a -- una superficie de 1 032 200 Has. Por otra parte, la actividad forestal - se estimó para su desarrollo en 173 400 Has., apenas el 5.8 % del total.

II. 2 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Existe una gran variedad de actividades, entre las que destaca por su -- importancia la ganadería, encontrándose en casi todo el Estado condiciones favorables para su desarrollo. Los centros más importantes son : León, Silao, San Felipe. Abasolo, y el Noroeste del Estado. Las especies - que se desarrollan son principalmente bovinos, porcinos, ovinos y equi-- nos.

En minería cuenta con ocho regiones, entre las que destacan los principales centros que han contribuido al desarrollo del Estado y son: Las Torres, Cebada, Peregrina y la sociedad cooperativa minero - metalúrgica Santa Fé de Guajuato. Existen en explotación las minas: La Valencia, Cata y Rayas, todas en el municipio de Guanajuato.

En agricultura durante 1980, se practicaron 53 cultivos de ciclo corto y 5 de ciclo largo (perennes) de los cuales se cosecharon 618 300 Has., - obteniéndose un valor de 3 433 millones de pesos.

Cuenta con un eje industrial que comprende las ciudades de Celaya, Salamanca, Cortazar, Irapuato y León. Predominan plantas procesadoras de frutas, de productos agropecuarios, refinería de Pemex, plantas de alimentos cigarros, ropa, además la curtiduría y calzado.

Las principales fuentes de energía eléctrica con que cuenta son, 8 centrales generadoras. Siete de ellas son de vapor y se localizan en Salamanca y Celaya, tienen una capacidad conjunta de 958 375 Kw. y otra de turbinas con una capacidad de 14 000 Kw.

La red caminera estatal alcanzó en 1980 un total de 6 265 Km., de los cuales se encuentran pavimentados el 34.8 %, revestidos el 48.4 %, de terracería el 16.8 % lo que da una proporción de 205 Km / 1000 Km² y una longitud de caminos de 22Km/10 000 Hab.

Según datos del censo (1980), la población total era de 3 044 400 Hab., representando el 4.6 % del total del país. La población económicamente activa fué del 34.1 % con una densidad de población de 100 Hab./ Km² y un alfabetismo del 25.2 %.

III HIDROLOGIA

III. 1 DEFINICION DE HIDROLOGIA

La Hidrología ha sido definida por varios autores e instituciones, así -- por ejemplo; el diccionario Webster la describe como : " La ciencia que -- estudia el comportamiento, propiedades, distribución y circulación del -- agua, especialmente el estudio en la superficie de la tierra, en el sue- lo, en los estratos subterráneos y en la atmósfera especialmente con res- pecto a la evaporación y precipitación".

El Consejo Federal de Ciencia y Tecnología de los E.U., la define de la -- manera siguiente : " Hidrología es la ciencia que trata el agua en la tie- rra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el medio ambiente incluyendo su relación con los seres vivos ".

Los principales objetivos de la Hidrología al diseñar una obra de ingenie- ría, pueden resumirse en dos grandes grupos :

- Obtención de la avenida máxima que con una determinada frecuencia -- puede ocurrir en algún sitio.
- El conocimiento de la cantidad, frecuencia y ocurrencia del agua -- sobre la superficie terrestre.

III. 2 IMPORTANCIA DE LA HIDROLOGIA

El conocimiento de la Hidrología y el disponer de recursos en este cam- po para el manejo del agua, es básico para el desarrollo humano y para -- ello es necesario conocer de técnicas adecuadas. Esta , trata de estable- cer los procedimientos para el diseño y revisión de estructuras hidraúli- cas que tengan relación con ella, indicando los aspectos que deben consi-

derarse para un proyecto de diseño en una obra de ingeniería. Trata también de definir las metodologías a seguir en cada caso en particular, -- ~~teniendo en cuenta las diferencias existentes en la cantidad y calidad de~~ la información disponible.

En resumen, la importancia de la Hidrología radica en estudiar la disponibilidad del recurso agua para poder utilizarla en diversos fines y la posibilidad de que se presente en exceso, para prevenir efectos indeseables.

III. 3 EL CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua (Figura 2). Este se inicia con la evaporación del agua de las grandes masas de almacenamiento (océanos, mares, lagos, etc.) -- por la acción de los rayos solares y el viento. El vapor resultante asciende hacia capas superiores y es transportado por el aire en movimiento hasta formar nubes. Al condensarse las nubes, producen precipitaciones sobre la superficie terrestre, de ésta, una parte es retenida por la vegetación y la superficie, parte se vuelve a evaporar, otra escurre sobre la superficie drenada por los arroyos y ríos y la restante se infiltra.

Tanto el agua que escurre superficialmente como la que se infiltra, tienen una circulación hacia los océanos o grandes masas de agua, con lo que se cierra el ciclo hidrológico.

Si examinamos el ciclo superficialmente, puede darnos la impresión de ser un proceso exacto y continuo, aseveración totalmente falsa. El movimiento del agua durante las diferentes fases del ciclo es errático, tanto temporal como espacialmente. En algunas ocasiones, se producen lluvias torren-

ciales que hacen crecer los ríos en exceso y en otras, épocas de sequía, - esto es, que la precipitación cesa por un período de tiempo considerable.

Los extremos de crecientes y sequías son precisamente los que presentan mayor interés para el ingeniero hidrólogo, ya que la mayoría de las obras hidráulicas se diseñan para la protección contra los efectos perjudiciales de los extremos, por lo tanto, la Hidrología no solo debe estudiarse desde el punto de vista cualitativo, sino también cuantitativo, esto es, estudiar la frecuencia con la cual pueden ocurrir los extremos del ciclo, ya que son los que marcarán la pauta en el análisis económico que es una parte fundamental en las obras hidráulicas.

III. 4 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA CUENCA DEL RIO TURBIO

Entre las características principales de la cuenca, se encuentran : localización geográfica, área, longitud y pendiente del cauce, clima, tipos y usos del suelo; a continuación se presentan cada una de ellas.

III. 4.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA Y AREA

La cuenca del Río Turbio está situada en la parte poniente del Estado, entre los paralelos 20°17' y 21°20' de Latitud Norte y los meridianos 101°23' y 102°17' de Longitud Oeste, localizada en las colindancias de los Estados de Guanajuato y Jalisco. Está limitada al Norte con la cuenca del Río Santiago; al Este con la cuenca del Río Guanajuato-Silao y al Sur y Sureste con la cuenca directa del Río Lerma (Figura 3).

El área total de la cuenca es de 4 818 Km², de los cuales 3 247 Km² corres

penden al Estado de Guanajuato dentro de los municipios de: León, San --- Francisco del Rincón, Cd. Manuel Doblado, Cuernámaro, Abasolo, Pénjamo y - Huanimaro. Los restantes 1 571 Km² corresponden a diversos municipios del Estado de Jalisco.

III.4.2 LONGITUD DEL CAUCE

El Río Turbio tiene una longitud de 223 Km., es un afluente derecho del - Río Lerma y recorre la cuenca de Norte a Sur. Su origen se localiza en la Sierra Cuatroalba a 20 Km. al Norte de la Cd. de León, donde se le conoce como Arroyo La Patiña; atravieza la Cd. de León por la parte Este con el nombre de Río Los Gómez, cambia su rumbo hacia el Oeste pasando aproximadamente a 1 Km. al Sureste de San Francisco del Rincón donde toma el nombre de Río Turbio. Recorre 10 Km. hasta el poblado de Adjuntas en donde el río cambia su dirección hacia el Este hasta llegar al poblado de Trojes de Marañón 7 Km. al Noroeste de Cuernámaro, a partir de este punto el Río - Turbio cambia de dirección hasta llegar a la confluencia con el Río Lerma, 5 Km. aguas abajo de Pastor Ortiz, Michoacán.

III.4.3 PENDIENTE DEL CAUCE

La pendiente es una de las características más importantes, puesto que --- ésta influye directamente sobre la velocidad del agua y como consecuencia es determinante en la forma del hidrograma.

Existen varios métodos para valuar este parámetro; el primero es muy sencillo, considera el desnivel entre los extremos del cauce dividido por la -- longitud horizontal del cauce. Otra forma de valuar la pendiente y que trata de ajustarse a la pendiente real, es utilizando la ecuación que propo-

nen Taylor y Schwarz.

En este trabajo, se calculó la pendiente media del cauce por el método -- que proponen Taylor y Schwarz. Tomando en cuenta la elevación del nacimiento del Río Turbio que es de 2 640 m.s.n.m. y que la altitud del punto de confluencia con el Río Lerma que es de 1 680 m.s.n.m., resulta un desnivel entre ambos puntos de 960 m. con lo que resulta una pendiente general de $S_g = 0.004305$ y por la ecuación de Taylor y Schwarz una pendiente media de $S_m = 0.000583$ (Figura 4).

III.4.4 CLIMA

El clima prevaleciente en la cuenca se ha dividido en dos zonas : la primera en la zona Norte-Oeste y la segunda en la Centro-Sur.

Zona Norte-Oeste. - En la parte Norte de las sierras de Cuatralba y Comanja, el clima es seco estepario, con un cociente P/T mayor que 22.9 y en la parte Sur de las mismas es de tipo semicálido; en la sierra de Pénjamo es templado húmedo con lluvias de verano de cociente P/T entre 43.2 y 53.0.

En esta zona se registran precipitaciones medias anuales del orden de los 800 mm., la temperatura media en las sierras es de 16°C y en las partes bajas de 18° a 20°C.

Zona Centro-Sur. - La región está formada por los terrenos bajos de la cuenca , los climas dominantes son: en la parte Centro, seco estepario y el Sur semicálido, la precipitación media anual es de 700 mm., y la temperatura media es del orden de los 20°C siendo un poco más baja en la Cd.-- de León.

III.4.5 TIPOS Y USOS DEL SUELO

Zona Norte y Oeste.- La vegetación está compuesta por comunidades de ~~pino-encino y asociaciones de encino-chaparral; matorrales subsernales,~~ pastizales, nopaleras y algunas áreas abiertas a la agricultura de temporal. En esta zona, los suelos son moderadamente permeables y en la mayor parte se encuentran el tipo Faeozem existiendo pequeñas áreas de Vertisol Citosol, Plancsol y otros. Los suelos tienen como limitantes, lo delgado, la pedregosidad y la erosión.

Zona Centro y Sur.- La vegetación la constituyen la agricultura de temporal y riego, algunos manchones de pastizales y asociaciones de mequitil con matorral espinoso. La pendiente en esta zona es muy baja y los suelos predominantes son el tipo Vertisol, Planosol y Citosol. Sus principales limitantes son: la falta de agua, la salinidad y el suelo delgado pedregoso.

III.5 PRECIPITACION

La precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico proveniente de la atmósfera, además es un vector primario del ciclo hidrológico.

Para medir la precipitación en la actualidad se cuenta con varios aparatos e instrumentos como son: pluviógrafos, pluviómetros, radar y satélites.

En la cuenca del Río Turbio, se encuentran 14 estaciones climatológicas, de ellas solamente una tiene pluviógrafo, su distribución se puede apreciar en la Figura 5.

Muchas veces es necesario conocer la altura de precipitación media en ---

una zona, ya sea durante una tormenta, una época del año o un período de terminado de tiempo. Para calcular esta altura media de precipitación, - existen varios métodos entre los que se encuentran, el Promedio Aritmético, Método de Thiessen y el Método de las Isoyetas.

Para la cuenca se utilizó el Método de Thiessen o también llamado Polígonos de Thiessen, pues se cuenta con el área de influencia de cada estación; no se escogió el Método Aritmético pues es menos preciso, dado que se carece de un número considerable de estaciones y por otra parte, el Método de las Isoyetas a pesar que es más preciso se desechó, pues se requiere de experiencia y criterio amplio para trazar el plano de las isoyetas.

Para determinar la precipitación media por el Método de Thiessen, se usaron los registros máximos maximorum en 24 horas con que cuentan las estaciones climatológicas.

La precipitación media se obtuvo utilizando la siguiente expresión :

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^n h_p A_i}{A_c}$$

Donde

A_c = área de la cuenca, en Km^2

A_i = área tributaria de la estación i , en Km^2

h_p = altura de precipitación, en mm

n = número de estaciones

\bar{h}_p = altura de precipitación media, en mm.

El valor que resultó fué de 85.12 mm., en la Tabla 1 se muestra el cálculo

lo para la obtención de la precipitación media y se presenta a la vez el área de influencia de las estaciones medidoras. Estas áreas se pueden apreciar en la Figura 5.

III.6 ANALISIS DE ESCURRIMIENTOS

~~El escurrimiento es la parte de la precipitación que queda después de deducir las pérdidas por intercepción y evapotranspiración, aparece en los canales abiertos, naturales o artificiales, con flujo perenne o intermitentes. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes y con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, sub superficial o subterráneo.~~

El análisis que se hace a los escurrimientos es con el fin de obtener el gasto máximo de diseño que con una determinada frecuencia puede presentarse en un punto.

La magnitud de la avenida o gasto, es función directa del período de retorno que se le asigne, el que a su vez dependerá de la importancia de los daños y de la vida útil de las obras.

El período de retorno de una avenida, es el intervalo de recurrencia promedio de que esa avenida sea igualada o superada en un determinado lapso de tiempo.

Para determinar el período de retorno que se le asigne a los escurrimientos, la expresión de Weibull es la más adecuada para el caso de máximos-
anuales, siendo la expresión :

$$T_r = \frac{n+1}{m}$$

donde la probabilidad es : $P = 1/T_r$

donde: n = número de años de registro
 m = número progresivo en el registro, el mayor evento tiene un orden $m=1$
 P = probabilidad de que ocurra esa avenida o ~~una mayor durante la vida útil de la obra~~
 T_r = período de retorno de la avenida, en años

Existen diversos métodos para conocer el gasto máximo para un período de retorno considerado, dividiéndose en dos grandes grupos : métodos empíricos y métodos estadísticos. Dentro de los primeros, los más conocidos son los debidos a Creager, Burkli-Ziegler, Murphy, Pagliary, etc. y por lo que respecta a los estadísticos se tienen los métodos de Gumbel, Nash, Lebediev y Pearson III. Para este trabajo, se utiliza el criterio de Gumbel, dado que los resultados obtenidos fueron los que mejor se ajustaron a los datos. Por este método, para calcular el gasto máximo ligado a un período de retorno determinado, se usó la siguiente expresión :

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{n}} \left(Y_n + \log_e \log_e \frac{T_r}{T_r-1} \right)$$

siendo la desviación estándar de los gastos : $\sqrt{Q} = \sqrt{\frac{Q_i^2 - N Q_m^2}{N-1}}$

Donde N = número de años de registro

Q_i = gastos máximos anuales registradas, en m^3/seg

$$Q_m = \sum_{i=1}^n Q_i / N = \text{gasto medio, en } m^3/\text{seg}$$

$Q_{m\acute{a}x}$ = gasto máximo para un período de retorno, en m^3/seg

Y_n, Y_n = parámetros que están en función del tamaño de la muestra (Tabla 2).

Para calcular el intervalo de confianza, o sea aquel dentro del cual puede variar el Q máx dependiendo del registro, se realiza lo siguiente :

- Si $\phi = 1 - 1/Tr$ varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza-- calcula con :

$$\Delta Q = \pm \sqrt{N} \propto \sqrt{m} \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{n} \sqrt{N}}$$

- Si ϕ es mayor de 0.90, el intervalo se calcula con :

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 \sqrt{Q}}{\sqrt{n}}$$

Donde N = número de años de registro

$\sqrt{N} \propto \sqrt{m}$ = constante función de ϕ (Tabla 2)

\sqrt{n} = constante función de N (Tabla 2)

\sqrt{Q} = desviación estándar de los gastos.

La zona de ϕ comprendida entre 0.80 y 0.90 se considera de transición, - donde ΔQ es proporcional al calculado con las expresiones anteriores.

Así, el gasto máximo de diseño para un cierto intervalo de tiempo o período de retorno, será igual al gasto máximo calculado más el intervalo de - confianza.

Para la obtención de un gasto máximo con períodos de retorno de 5, 10, -- 15 y 50 años que se pueden presentar en las estaciones hidrométricas por

* ϕ es la probabilidad de que el gasto máximo no se presente en ese intervalo de tiempo.

método de Gumbel, se cuenta con los gastos máximos anuales, que para la estación " Las Adjuntas " son los mostrados en la Tabla 3, los cuales se utilizan para la obtención del gasto máximo y el procedimiento es el siguiente :

- Se cuantifica en primer lugar el gasto medio a través de :

$$Q_m = \sum_{i=1}^n Q_i / N$$

sustituyendo los valores de la Tabla 3 se tiene

$$Q_m = \frac{2181.74}{35} = 62.34 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Se calcula la desviación estándar de los gastos, que al sustituir valores se tiene

$$\sqrt{Q} = 51.636$$

- Se valoran los coeficientes \sqrt{n} y γ_n que son constantes función de N

$$\text{para } N = 35 \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \sqrt{n} &= 1.12847 \\ \gamma_n &= 0.54034 \end{aligned}$$

- Se sustituye en la expresión de Gumbel

$$Q_{\text{máx}} = 62.34 - 51.636 / 1.12847 \left(0.54034 + \log_e \log_e \frac{Tr}{Tr-1} \right)$$

$$Q_{\text{máx}} = 37.61 - 45.76 \log_e \log_e (Tr / Tr-1)$$

expresión que relaciona el gasto máximo con cualquier período de retorno.

- Utilizando los períodos de retorno considerados se tiene :

$$\text{para } Tr = 5 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{máx}} = 106.24 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{para } Tr = 10 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{máx}} = 140.58 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{para } Tr = 15 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{máx}} = 159.95 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{para } Tr = 50 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{máx}} = 216.15 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Se calcula el intervalo de confianza, para los Tr considerados

$$\text{para } Tr = 5 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad \phi = 1 - 1/5 = 0.80$$

$$\text{y según la Tabla 2 :} \quad \sqrt{N} \cdot \sqrt{m} = 2.2408$$

$$\text{por tanto} \quad \Delta Q = \pm 17.331 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{si } Tr = 10 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad \phi = 0.90$$

$$\text{como } \phi = 0.90 \text{ se utiliza la expresión: } \Delta Q = \pm 1.14 \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{por tanto} \quad \Delta Q = \pm 52.164 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{para } Tr = 15 \text{ y } 50 \text{ años} \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = \pm 52.164 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Como se mencionó anteriormente, el gasto máximo de diseño es igual al ---
gasto máximo más su intervalo de confianza, asociado a su respectivo ----
período de retorno, por lo que se concluye que :

$$\text{- para } Tr = 5 \text{ años ;} \quad Q_d = 106.243 + 17.331 = 123.57 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{- para } Tr = 10 \text{ años ;} \quad Q_d = 140.580 + 52.164 = 192.74 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- para $Tr = 15$ años ; $Qd = 159.953 + 52.164 = 212.12 \text{ m}^3/\text{seg.}$

- para $Tr = 50$ años ; $Qd = 216.151 + 52.164 = 268.32 \text{ m}^3/\text{seg.}$

El criterio seguido para la estación hidrométrica " Guanajal II ", es -
mismo que se mostró para Las Adjuntas, por lo que sólo se presentan los
resultados obtenidos para los mismos períodos de retorno.

- para $Tr = 5$ años ; $Qd = 89.342 + 18.424 = 107.77 \text{ m}^3/\text{seg.}$

- para $Tr = 10$ años ; $Qd = 120.805 + 47.795 = 168.60 \text{ m}^3/\text{seg.}$

- para $Tr = 15$ años ; $Qd = 138.556 + 47.795 = 186.35 \text{ m}^3/\text{seg.}$

- para $Tr = 50$ años ; $Qd = 190.051 + 47.795 = 237.85 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Se muestran las Tablas 4 y 5 con la finalidad de conocer el tiempo en -
el que se puede presentar una avenida igual o mayor a las registradas y
la probabilidad de que ésta ocurra, se consideran los gastos máximos a-
nuales registrados en las estaciones hidrométricas.

III.7 RELACION LLUVIA - ESCURRIMIENTO

La información sobre gastos en una estación hidrométrica es necesaria -
para diseñar obras de aprovechamiento o de protección. En muchas ocasi-
nes, el ingeniero se encuentra con poca o ninguna información de medi-
ciones directas que le permitan conocer el registro histórico de los eg-
currimientos en una cuenca, por lo que, muchas veces recurre a estimar-
los a partir de los datos de precipitación. Además cuando la cuenca ha-
estado o estará sujeta a cambios de importancia (por ejemplo, cons----

trucción de obras de almacenamiento, urbanización, deforestación, etc.) estos cambios de importancia, modifican el régimen de escurrimiento, -- por lo que su registro histórico no representa correctamente el comportamiento futuro de la cuenca.

En estos casos, y ante los problemas de predicción de avenidas, es necesario contar con un modelo que permita estimar los escurrimientos a partir de las características de la lluvia, tomando en cuenta las condiciones de la cuenca. Uno de estos modelos es el Hidrograma Unitario Triangular que planteó el U.S. Soil Conservation Service en el año de 1957 y que representa el hidrograma de respuesta de una cuenca por medio de -- una figura geométrica simple, el triángulo.

A partir de tal consideración se deducen a continuación las fórmulas o ecuaciones que se aplicarán en el método de acuerdo a la Figura 6.

Observando la Figura 6, el volumen de escurrimiento directo originado -- por la tormenta (área bajo el hidrograma), se puede expresar como :

$$\text{Vol} = \frac{Q_p (T_p)}{2} + \frac{Q_p (T_r)}{2} = \frac{Q_p}{2} (T_p + T_r)$$

de donde

$$Q_p = \frac{2 (\text{Vol})}{T_p + T_r}$$

En base al análisis de un gran número de hidrogramas reales, se adoptó como valor medio de T_r para las cuencas sin registro hidrométrico:

$$T_r = 1.67 T_p$$

por lo que el tiempo base del H.U.T. se puede expresar de la siguiente forma :

$$T_b = 2.67 T_p$$

sustituyendo se tiene :

$$Q_p = \frac{2 (Vol)}{2.67 T_p} = 0.749 (Vol) / T_p$$

por último, sustituyendo la expresión de volumen (Vol) es decir :

$$Vol = A Pe * 10^3$$

estando : Vol en m³, A área de la cuenca en Km² y Pe la cantidad de -- precipitación en exceso en mm y Tp en segundos.

Entonces se tiene :

$$Q_p = \frac{0.749 (A Pe * 10^3)}{T_p}$$

finalmente haciendo la transformación de Tp a horas se concluye :

$$Q_p = \frac{0.208 A Pe}{T_p}$$

Esta última ecuación representa la Ecuación General del Gasto Máximo en el método del H.U.T.

El valor de Tp se calcula con la expresión :

$$T_p = \frac{de}{2} + T_r$$

por otra parte los hidrólogos del S.C.S., han concluido como valor representativo del tiempo de retraso, el 60 % del tiempo de concentración (T_c) entonces :

$$T_p = \frac{\text{de}}{2} + 0.6 T_c$$

Este método , se seleccionó para analizar la parte de la cuenca del Río Turbio que queda comprendida de la estación hidrométrica " Las Adjuntas " a la confluencia con el Río Lerma (dado que en esta zona no se dispone de registros simultáneos de lluvia y escurrimiento) para generar el -- hidrograma relacionado con los períodos de retorno considerados.

Así pues, para el cálculo de las ecuaciones características del H.U.T.-- el tiempo de concentración que se define, como el tiempo que tarda una gota de agua en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma , se calculó con la fórmula de Chow :

$$T_c = 0.01 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

donde : L es la longitud del cauce principal en m. y S es la pendiente media del cauce en por ciento.

Para la zona en estudio los valores son :

$$A = 1905 \text{ Km}^2$$

$$L = 133 \text{ Km}$$

$$S_m = 0.000583$$

sustituyendo valores se tiene :

$$T_c = 0.01 \left(\frac{153\ 000}{\sqrt{0.0583}} \right)^{0.64} = 47 \text{ hrs.}$$

cuando por alguna razón no se conoce la duración de la lluvia en exceso, ésta se puede calcular en forma aproximada usando la siguiente expresión

$$de = 2 T_c$$

donde : de es la duración de la lluvia en exceso en horas y Tc el tiempo de concentración de la cuenca en horas, por tanto :

$$de = 2 \sqrt{47}$$

$$de = 13.7 \text{ h}$$

$$de = 14 \text{ hrs.}$$

Así, el tiempo pico es :

$$T_p = 14 + 0.6 * 47$$

$$T_p = 42 \text{ hrs.}$$

El tiempo base es :

$$T_b = 2.67 * 42$$

$$T_b = 112 \text{ hrs.}$$

A partir de la Ecuación General del Gasto Máximo en el método del H.U.T.

se tiene :

$$Q_p = \frac{0.208 * 1905}{42} P_e$$

$$Q_p = 9.1343 P_e$$

Para el cálculo de la precipitación en exceso, se escogió el criterio -- propuesto por el S.C.S. que esta en función de la precipitación y el --- número de escurrimiento N (Tsbta 6) , que es un coeficiente que depen- de del uso y tipo de suelo en la cuenca. Para la zona en estudio, se --- obtuvieron los siguientes porcentajes de cobertura vegetal.

Uso del Suelo :

Superficie Impermeable	1.5 %
Cultivos en Surco	46.0 %
Pastizal Pobre	50.0 %
Bosque Natural Ralo	2.5 %

Tipo de Suelo :

Según las características físicas de la cuenca, se estimó que la zona de interés presenta suelos tipo " C " el cual incluye arenas finas, limos y bastan te arcilla en donde debe controlarse el agua para- que no se inunden y cuando se secan son duros para labores de labranza.

Por lo tanto, el número de escurrimiento " N " vale :

Superficie Impermeable	$0.015 * 100 = 1.5$
Cultivos en Surco	$0.460 * 84 = 38.6$
Pastizal Pobre	$0.500 * 81 = 40.5$
Bosque Natural Ralo	$0.025 * 78 = 1.9$
	SUMA = 82.5

Se adopta N = 82

La precipitación en exceso se calculó en función de la precipitación media en la zona para períodos de retorno de 5, 10, 15 y 50 años. Con los registros de lluvias máximas anuales en 24 horas de las estaciones con influencia en la zona, se aplicó en cada una de ellas el método probabilístico de Gumbel (dado que fué la mejor distribución que se ajustó a los datos), dando como resultado las alturas de precipitación relacionadas a los períodos de retorno, las cuales se presentan en la Tabla 7 .

Utilizando los polígonos de Thiessen, se calculó la precipitación media en 24 horas de la zona, dando como resultados :

$$\text{para } Tr = 5 \text{ años} \quad P = 63.70 \text{ mm}$$

$$\text{para } Tr = 10 \text{ años} \quad P = 73.93 \text{ mm}$$

$$\text{para } Tr = 15 \text{ años} \quad P = 79.70 \text{ mm}$$

$$\text{para } Tr = 50 \text{ años} \quad P = 96.45 \text{ mm}$$

El análisis anterior es para duraciones de 24 horas, pero la duración de la lluvia en exceso es de 14 horas, por lo que se obtuvo un coefi---

ciente de reducción que resultó de dividir la duración de la lluvia en exceso entre la precipitación media en 24 horas. Dicho coeficiente resultó ser de 0.58. Así pues, las precipitaciones medias ajustadas para los diferentes períodos de retorno son :

para $T_r = 5$ años	$\bar{P} = 36.95$ mm
$T_r = 10$ años	$\bar{P} = 42.88$ mm
$T_r = 15$ años	$\bar{P} = 46.23$ mm
$T_r = 50$ años	$\bar{P} = 55.94$ mm

La precipitación en exceso se obtendrá aplicando la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{(\bar{P} - \frac{508}{N} + 5.08)^2}{(\bar{P} + \frac{2032}{N} - 20.32)}$$

donde : P_e ; es la precipitación en exceso, en cm

\bar{P} ; es la precipitación media, en cm

N ; es el número de escurrimiento

sustituyendo los valores de \bar{P} y N se tiene :

$$\text{para } T_r = 5 \text{ años} \Rightarrow P_e = \frac{(36.95 - \frac{508}{82} + 5.08)^2}{36.95 + \frac{2032}{82} - 20.32} = 0.816 \text{ cm}$$

$$T_r = 10 \text{ años} \Rightarrow P_e = \frac{(42.88 - \frac{508}{82} + 5.08)^2}{42.88 + \frac{2032}{82} - 20.32} = 1.151 \text{ cm}$$

$$T_r = 15 \text{ años} \Rightarrow P_R = \frac{(4.623 - \frac{508}{82} + 5.08)^2}{4.623 + \frac{2032}{82} - 20.32} = 1.355 \text{ cm}$$

$$T_r = 50 \text{ años} \Rightarrow P_R = \frac{(5.594 - \frac{508}{82} + 5.08)^2}{5.594 + \frac{2032}{82} - 20.32} = 1.995 \text{ cm}$$

Utilizando la Ecuación General del Gasto Máximo en el método del H.U.T. obtenida en los pasos anteriores se tiene :

$$\text{para } T_r = 5 \text{ años} \quad Q_p = 9.4343 * 8.16 = 76.9 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T_r = 10 \text{ años} \quad Q_p = 9.4343 * 11.51 = 108.6 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T_r = 15 \text{ años} \quad Q_p = 9.4343 * 13.55 = 127.8 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T_r = 50 \text{ años} \quad Q_p = 9.4343 * 19.95 = 188.2 \text{ m}^3/\text{seg}$$

En la figura 7 se muestra el hidrograma de respuesta de la cuenca para el período de retorno de 50 años.

III.8 PROBLEMATICA DE INUNDACIONES

Las inundaciones en términos generales provocan una serie de daños de toda índole (humanos y económicos) y dado que al ser causados por efectos climatológicos y aleatorios, es imposible el poder determinarlos a tiempo, por este motivo una inundación de hecho en la actualidad es algo inesperado.

Varios son los motivos que originan las inundaciones, entre los que se -

encuentran con más frecuencia son : Falta de capacidad del río , exceso de azolves en el río, cauces no definidos, extracción irracional de materiales en las márgenes del cauce, falta de estructuras hidráulicas, - etc.

En nuestro país, año con año se tienen problemas de este tipo y estadísticamente se pierden directamente del orden de 1 200 millones de pesos anuales, de los cuales el 70 % aproximadamente corresponden al sector agrícola, además tomando en cuenta un estudio realizado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, se comprobó que las pérdidas indirectas por problemas de inundación son del orden del 80 al 90 % de las directas.

III.8.1 RESUMEN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA

En la cuenca del Río Turbio, la problemática de inundación se presenta principalmente, entre la Cd. de León y la confluencia con el Río Lerma; los problemas se generan básicamente porque el cauce presenta una capacidad de conducción muy reducida en varios tramos, ya que su desarrollo es a través de una planicie en donde el desnivel en el tramo considerado es de tan sólo 160 m. en 198 Km., lo que provoca que al presentarse avenidas de consideración, el agua desborde inundando y provocando daños a núcleos de población y terrenos principalmente de cultivo.

Las pérdidas económicas que se consideran las más representativas fueron las siguientes :

AÑO	HAS. AFECTADAS	IMPORTE DE DAÑOS
1971	15 197	\$ 67 497 156.00
1973	23 646	168 267 890.00
1976	15 880	166 149 185.00

A manera de información de este inciso, se presentan las inundaciones--
ocurridas en la cuenca en el período de 1958 - 1976 (Tabla 8).

Los datos que se vaciaron en esta tabla son los siguientes :

- Magnitud de las avenidas registradas
- Fecha en que se presentaron
- Area de cultivo afectada
- Tirante máximo
- Tiempo de drenado de la zona inundada
- Importe de los daños ocasionados

III.8.2 ACCIONES PREVENTIVAS A CENTROS DE PRODUCCION Y DE POBLACION

En la ayuda brindada a centros de producción y de población ante una si
tuación de emergencia por inundación, se encuentran involucradas varias
Secretarías, Organismos e Instituciones, en donde cada una de las cua--
les aporta lo relacionado a su ramo.

Entre los organismos federales, la Secretaría de Agricultura y Recursos
Hidráulicos a través de la Dirección General de Control de Ríos e Inge--
nería de Seguridad Hidráulica, ha propuesto los llamados " Instructi--

vos de Control Regional ".

El plan de elaboración de los I.C.R., cumple el propósito de regionalizar prioritariamente los estados con mayor grado de afectación y de éstos, definir las cuencas con mayores problemas de inundación.

El I.C.R. se define como :

" Manual que contiene las actividades e instrucciones a seguir por el personal técnico y de apoyo de las representaciones estatales de la S.A.R.H. para la atención de situaciones de emergencia provocadas -- por inundaciones o tiempo severo ".

El objetivo que pretende es :

" Aprovechar al máximo los recursos humanos, materiales y financieros con que cuentan las representaciones de la S.A.R.H. en cada estado y que permitan -- prevenir y minimizar los daños que ocasionan las -- inundaciones ".

El procedimiento general en la elaboración de un I.C.R. es el siguiente:

- 1) En un plano topográfico se identifican los puntos, tramos, estructuras, etc., en la cuenca y el cauce que periódicamente recienten los problemas de inundación.
- 2) En base a los antecedentes se determinan los parámetros críticos que permitan conocer anticipadamente las avenidas que causan daños. Estos parámetros pueden ser gastos, lluvias, tirantes o ---

tiempos de traslado de los escurrimientos.

- 3) Con esta información y toda la que sea posible recabar de la región, se elabora el anteproyecto de I.C.R., además se calibran los parámetros y se realizan las inspecciones de campo.
- 4) Se realiza el proyecto definitivo de I.C.R. y se presenta a las autoridades correspondientes.
- 5) Se delimitan las áreas afectadas y se dan responsabilidades-- a nivel local.
- 6) Se forma la organización que atenderá las emergencias y se - preven las medidas para la temporada de lluvias.
- 7) Ante los acontecimientos desarrollados por la temporada lluviosa, se verifican los procedimientos y trabajos efectuados calibrando y retroalimentando las medidas empleadas.
- 8) Una vez terminada la emergencia, se procede a una evaluación final de las acciones, las operaciones y los daños causados- por la inundación y se da un informe final a las autoridades.

Aimismo, dentro de la problemática de inundaciones, la S.A.R.H. ha rea_ lizado una serie de estudios específicos, siendo algunos de ellos los - siguentes :

- Regionalización en el país para determinar los gastos máximos en una primera aproximación para diferentes períodos de retorno.
- Aplicación del modelo de Stanford a la cuenca del río Santo Do- mingo.
- Control de avenidas en el Bajo Pánuco

- Recomendaciones para el diseño y revisión de estructuras para -- el control de avenidas.
- Identificación de acciones de apoyo necesarias para contar a---- mediano plazo con planes de prevención y control de inundaciones en las cuencas de los ríos Lerma, Papaloapan, Pánuco y Balsas.
- Análisis de la Precipitación Máxima Probable en el país.
- Estudio de la planicie de inundación del río Papaloapan.

Existen otros criterios, pero todos convergen en que debe existir un sistema de alertamiento y una organización que atienda y auxilie a las comunidades en casos de emergencia por inundación.

III.9 ESTRUCTURAS Y OBRAS DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES

Una estructura u obra de protección, es toda aquella construcción que su función primordial es contener o aminorar los efectos del agua cuando ésta se presenta en forma violenta y de improviso, además en grandes cantidades.

Entre la diversa gama de obras de protección que existen, están las -- presas, que según su uso, pueden ser de control de avenidas, almacenamiento, riego, abastecimiento de agua potable, o generación de energía eléctrica. Es común que una estructura de este tipo sirva para uno o -- varios fines de los antes mencionados. Estas cuentan con cortina, obra de excedencias, obra de toma, obras complementarias y en algunas casa-- de máquinas.

Las presas pueden considerarse como una de las obras más efectivas para el control de las inundaciones, pero dado su alto costo y los estudios detallados que requieren para su proyecto y construcción, en nuestro país aún no se cuenta con un complejo hidráulico suficiente de este tipo.

Otra clase de estructuras que protegen contra inundaciones son los bordos perimetrales, bordos fusibles y cruces de alivio. De menor importancia, pero que también ayudan a este problema se tienen : la rectificación de cauces, dragado de los mismos, colocación de espigones y gabiones, incremento de la altura de bordos, rehabilitación de áreas inundables y en zonas urbanas, canalización de corrientes.

La determinación de una u otra obra dependerá de diversos factores como : estudio específico del problema, disponibilidad económica, gravedad del daño provocado por la inundación y grado de protección que se desee.

En la Tabla 9 y la figura 8 respectivamente, se muestran las principales obras hidráulicas y el diagrama de flujo de la cuenca del Río Turbio..

IV CONCIUSIONES

En nuestro país, los estudios hidrológicos en relación con los problemas de inundación, están ligados con las acciones de tipo estructural y no estructural con el objeto de evitar o minimizar los efectos que éstas producen a centros de población y productivas. Además, es necesario contar con una serie de modelos hidrológicos en cuencas prioritarias a fin de conocer las relaciones lluvia - escurrimiento para definir las acciones emergentes a realizar antes, durante y después de una inundación.

Por otra parte, para estos estudios se necesita que la información que proporciona la red hidrometeorológica sea la indispensable para permitir : cuantificar los recursos hidráulicos existentes en el país, diseñar obras para su aprovechamiento y operación, así como, predecir los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

En el Estado de Guanajuato, existían 84 pluviómetros, 8 pluviógrafos y 27 estaciones hidrométricas en 1970, de este conjunto, para la cuenca del Río Turbio la relación existente entre el Estado y la cuenca, es de tan sólo : 14 pluviómetros, 1 pluviógrafo y 6 estaciones hidrométricas (3 de ellas en la parte alta de la cuenca).

Se aplicó el método probabilístico de Gumbel y la teoría del Hidrograma Unitario Triangular con el fin de obtener la avenida máxima de diseño relacionada con diferentes períodos de retorno para considerar a -- futuro, el diseño de estructuras que contemplen la capacidad de conducción en el cauce del Río Turbio, así como, las dimensiones óptimas de bordos, puentes o alcantarillas todo ello con enfoques de protección-

a centros urbanos y agrícolas.

En base al análisis de este trabajo se concluye que : en la cuenca del -- Río Turbio al presentarse un gasto mayor a los $200 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en la estación hidrométrica " Las Adjuntas ", los probables efectos que pueda causar la inundación son del orden de 27 245 Has. de superficie agrícola, afectando principalmente cultivos de maíz, frijol, sorgo, calabaza, camote y jitoma te ; el número de habitantes afectados es de aproximadamente 19 000, sien do principalmente de los municipios de Manuel Doblado, Cuérémaro, Abasolo y Pénjamo. El importe aproximado de los daños a la agricultura es de ---- 175 950 000 millones de pesos.

Es importante recalcar, que para realizar mejores estudios hidrológicos - es necesario incrementar el número de estaciones hidroclimatológicas en - el área.

REFERENCIAS

- . Análisis Estadístico y Probabilístico de Datos Hidrológicos
Rolando Springal G. U.N.A.M. 1975.
- . Boletín Hidrológico # 51 (Tomos I y II)
S.A.R.H. Dirección de Hidrología
- . Diseño de Presas Pequeñas
U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation
Washington D.C. 1965
- . Engineering Hydrology
E.M.Wilson. 1974
- . Esguerrimiento en Cuencas Grandes
Rolando Springal G. U.N.A.M. 1967
- . Handbook of Hidrology
Ven Te Chow. 1964
- . Hidrología (Primera Parte)
Rolando Springal G. U.N.A.M. 1970
- . Introduction to Hidrology
W. Vliesman, T. Harbaugh, J. Knapp. 1972
- . Recomendaciones para el Diseño y Revisión de Estructuras para el
Control de Avenidas.
Consultores S.A.

TABLA 1

PRECIPITACION MEDIA EN 24 HORAS

"METODO DE THIESSEN"

No. de Area	Estación	Año	Altura de Precipitación (mm)	Area (Km ²)	Productos (Km ² - mm.)
I	Comanja	1977	108.0	300.00	32,400.00
II	Nvo. Valle de Moreno	1962	76.0	76.74	5,832.24
III	León	1975	84.8	433.72	35,779.45
IV	U. de San Antonio	1976	105.0	291.32	30,588.60
V	Guanajal II	1976	90.5	480.24	43,461.72
VI	Jalpa	1979	86.5	579.07	50,089.55
VII	San Julián	1949	75.2	215.12	16,177.02
VIII	Jesús María	1949	79.0	267.44	21,127.76
IX	Las Adjuntas	1965	86.0	590.70	50,800.20
X	Cuerámaro	1976	80.5	636.59	51,245.49
XI	Agua Tibia	1972	82.5	426.75	35,206.88
XII	Abasolo	1976	87.7	296.51	20,073.06
XIII	Pastor Ortiz	1968	60.2	127.91	7,700.18
XIV	La Sandía	1965	90.0	95.89	8,630.10
<u>TOTAL</u>				<u>4,818.00</u>	<u>410,112.26</u>

TABLA 2

N	Y_n	Γ_n	N	Y_n	Γ_n	ρ	$\sqrt{Na} \approx \sqrt{m}$
8	.4843	.9043	49	.5481	1.1590	.01	(2.1607)
9	.4902	.9288	50	.54854	1.16066	.02	(1.7894)
10	.4952	.9497	51	.5489	1.623	.05	(1.4550)
11	.4996	.9676	52	.5493	1.1638	.10	(1.3028)
12	.5035	.9833	53	.5497	1.1653	.15	1.2548
13	.5070	.9972	54	.5501	1.1667	.20	1.2427
14	.5100	1.0095	55	.5504	1.1681	.25	1.2494
15	.5128	1.02057	56	.5508	1.696	.30	1.2687
16	.5157	1.0316	57	.5511	1.1708	.35	1.2981
17	.5181	1.0411	58	.5515	1.1721	.40	1.3366
18	.5202	1.0493	59	.5518	1.1734	.45	1.3845
19	.5220	1.0566	60	.55208	1.17467	.50	1.4427
20	.52355	1.06283	62	.5527	1.1770	.55	1.15130
21	.5252	1.0696	64	.5533	1.1793	.60	1.5984
22	.5268	1.0754	66	.5538	1.1814	.65	1.7034
23	.5283	1.0811	68	.5543	1.1834	.70	1.8365
24	.5296	1.0864	70	.55477	1.18536	.75	2.0069
25	.53086	1.09145	72	.5552	1.1873	.80	2.2408
26	.5320	1.0961	74	.5557	1.1900	.85	2.5849
27	.5332	1.1004	76	.5561	1.1905	.90	(3.1639)
28	.5343	1.1047	78	.5565	1.1923	.95	(4.4721)
29	.5353	1.1086	80	.55688	1.19392	.98	(7.0710)
30	.53622	1.11238	82	.5572	1.1953	.99	(10.000)
31	.5371	1.1159	84	.5576	1.1967		
32	.5380	1.1193	86	.5580	1.1980		
33	.5388	1.1226	88	.5583	1.1994		
34	.5396	1.1255	90	.55860	1.20073		
35	.54034	1.12847	92	.5589	1.2020		
36	.5410	1.1313	94	.5592	1.2032		
37	.5418	1.1339	96	.5595	1.2044		
38	.5424	1.1363	98	.5598	1.2055		
39	.5430	1.1388	100	.56002	1.20649		
40	.54362	1.14132	150	.56461	1.22534		
41	.5442	1.1436	200	.56715	1.23598		
42	.5448	1.1458	250	.56878	1.24292		
43	.5453	1.1480	300	.56993	1.24786		
44	.5458	1.1499	400	.57144	1.25450		
45	.54630	1.15185	500	.57240	1.25880		
46	.5468	1.1538	750	.57377	1.26506		
47	.5473	1.1557	1000	.57450	1.26851		
48	.5477	1.1574		.57722	1.28255		

TABLA 3

Año de Observación	Gasto Máximo Anual (Qi)	Q _i ²
1945	26.75	715.563
1946	28.44	808.834
1947	41.80	1747.240
1948	76.04	5782.082
1949	40.00	1600.000
1950	14.44	208.514
1951	25.27	638.573
1952	35.60	1267.360
1953	30.30	918.090
1954	10.14	102.820
1955	97.12	9432.294
1956	65.30	4264.090
1957	101.00	10201.000
1958	72.60	5270.760
1959	44.96	2021.402
1960	16.70	278.890
1961	25.80	665.640
1962	15.86	251.540
1963	53.51	2863.320
1964	27.08	733.326
1965	115.22	13275.648
1966	22.80	519.840
1967	116.00	13924.000
1968	57.00	3249.000
1969	15.70	246.490
1970	71.15	5062.323
1971	149.58	22374.175
1972	11.76	138.298
1973	207.00	42849.000
1974	51.50	2652.250
1975	107.80	11620.840
1976	241.00	58081.000
1977	105.53	1136.581
1978	27.30	745.290
1979	31.69	1004.256

N = 35

Σ 191.74

= Σ 226 650.330

TABLA 4

ESTACION "LAS ADJUNTAS"

Número de Orden	Año de Observación	Gastos máx. Anuales (m^3/seg)	Período de retorno	Probabilidad (%)
1	1976	241.00	36	2.78
2	1973	207.00	18	5.56
3	1971	149.56	12	8.33
4	1967	118.00	9	11.11
5	1965	115.22	7.2	13.89
6	1975	107.80	6	16.67
7	1977	105.53	5.14	19.46
8	1957	101.00	4.50	22.22
9	1955	97.12	4	25.00
10	1948	76.04	3.6	27.78
11	1958	72.60	3.27	30.58
12	1970	71.15	3	33.33
13	1956	65.30	2.77	36.10
14	1968	57.00	2.57	38.91
15	1963	53.51	2.40	41.67
16	1974	51.50	2.25	44.44
17	1959	44.96	2.12	47.17
18	1947	41.80	2	50
19	1949	40.00	1.89	52.91
20	1952	35.60	1.80	55.56
21	1979	31.69	1.71	58.48
22	1953	30.30	1.64	60.98
23	1946	28.44	1.57	63.69
24	1978	27.30	1.50	66.67
25	1964	27.08	1.44	69.44
26	1945	26.75	1.38	72.46
27	1961	25.80	1.33	75.19
28	1951	25.27	1.29	77.52
29	1966	22.80	1.24	80.65
30	1960	16.70	1.20	83.33
31	1962	15.86	1.16	86.21
32	1969	15.70	1.13	88.50
33	1950	14.44	1.09	91.74
34	1972	11.76	1.06	94.34
35	1954	10.14	1.03	97.09

TABLA 5

ESTACION "GUANAJAL II"

Número de Orden	Año de Observación	Gastos máx. Anuales (m ³ /seg.)	Período de Retorno	Probabilidad (%)
1	1954	188.00	27	3.70
2	1976	121.80	13.5	7.41
3	1971	117.50	9	11.11
4	1973	103.42	6.75	14.81
5	1975	98.20	5.40	18.52
6	1965	91.60	4.50	22.22
7	1974	66.82	3.86	25.91
8	1967	58.13	3.38	29.59
9	1970	52.73	3	33.33
10	1958	48.20	2.70	37.04
11	1955	46.80	2.45	40.82
12	1962	40.70	2.25	44.44
13	1957	37.50	2.08	48.08
14	1956	29.60	1.93	51.81
15	1961	27.00	1.80	55.56
16	1977	23.00	1.69	59.17
17	1963	21.26	1.59	62.69
18	1972	17.40	1.50	66.67
19	1960	14.20	1.42	70.42
20	1966	12.00	1.35	74.07
21	1959	11.80	1.29	77.52
22	1978	8.90	1.23	81.30
23	1964	8.26	1.17	85.47
24	1979	7.85	1.13	88.50
25	1968	7.68	1.08	92.59
26	1969	7.39	1.04	96.15

TABLA 6

SELECCION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO " N "

Uso de la tierra o cobertura	Condición de la superficie	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin culti- vo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	71	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembra das con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

TABLA 7
 PRECIPITACION MAXIMA ANUAL EN 24 HORAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

CON INFLUENCIA EN LA ZONA

AÑO	LAS ADJUNTAS	CUERAMARO	AGUA TIBIA	ABASOLO	PASTOR ORTIZ
	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)
1962	63.0	-	-	-	-
1963	51.0	59.0	64.2	49.6	-
1964	53.5	23.0	47.5	62.8	-
1965	86.0	30.0	75.8	37.6	
1966	23.0	32.3	48.2	54.2	36.0
1967	42.5	67.0	67.6	63.5	51.0
1968	48.0	37.0	49.2	59.5	60.2
1969	34.9	45.0	50.2	38.0	42.0
1970	47.5	50.0	43.5	47.0	40.0
1971	53.2	45.0	73.5	31.5	40.0
1972	36.2	78.0	82.5	55.8	44.0
1973	38.2	62.0	79.0	60.0	59.5
1974	40.1	38.5	62.5	42.5	42.4
1975	44.0	47.5	38.0	57.7	39.4
1976	35.3	80.5	76.0	67.7	53.4
1977	37.3	61.0	45.0	37.0	57.0
1978	56.2	47.0	47.0	38.0	40.0
1979	47.6	28.0	34.0	44.3	34.5

ALTURAS DE LLUVIA EN 24 HORAS RELACIONADAS CON DIFERENTES

PERIODOS DE RETORNO

Tr	LAS ADJUNTAS	CUERAMARO	AGUA TIBIA	ABASOLO	PASTOR ORTIZ
(años)	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)	hp (mm)
5	58.1	64.9	72.6	60.4	53.9
10	66.9	77.2	83.8	68.5	60.3
15	71.9	84.1	90.2	73.0	63.8
50	86.4	104.1	108.6	86.3	74.2

TABLA 8

ANTECEDENTES DE INUNDACION

Estación : Las Adjuntas		Area Afectada (Has.)	* Tirante Máximo (m)	* Tiempo de Drenado (Días)	Importe de Daños** \$
Fecha	Q (m ³ /seg.)				
5 - X - 58	72.60	3 278	1.40	36	24 705 630. 00
7 - X - 65	115.20	5 550	1.20	27	35 685 990. 00
13 - X - 67	118.00	5 129	1.20	28	34 489 180. 00
21 - IX- 71	149 00	15 197	1.20	23	67 497 156. 00
21 -VII-73	207.00	23 646	1.40	36	168 267 890. 00
16 - VIII-75	107.80	4 455	1.20	24	36 830 540. 00
18 - VII-76	241.00	15 880	1.50	25	166 149 185. 00

* Promedio en la Cuenca

** El importe está en base al valor de 1980

TABLA 9

PRINCIPALES OBRAS HIDRAULICAS DE LA CUENCA DEL RIO TURBIO

Nombre	Corriente	Almacenamiento Util (Ma3)	Tipo de Vertedor	Descarga Máx. (m3/seg)	Próposito de la Obra
P. Los Castillos	A. Los Castillos	1.90	Libre	174.00	Control de Avenidas
P. El Palote	A. La Patiña	9.00	Libre	77.00	Agua Potable y C.A.
P. Alfaro	A. Alfaro	0.55	Libre	40.00	Control de Avenidas
P. El Salto	A. El Salto	0.67	Libre	54.00	Control de Avenidas
P. El Mastranzo	Aguas Negras de la Cd. de León	2.50	Libre	22.00	Riego
P. San Germán	R. Los Gómez	1.60	Libre	60.00	Riego
P. El Barrial	R. Pedrito	48.50	Libre	155.00	Riego y C.A.
B. Ciego	A. La Barranca	0.60	Libre	30.00	Riego
P. Cañada de Ne- gros	A. La Cañada	0.62	Control	2.00	Riego
P. Jalpa	R. Jalpa	9.20	Libre	156.00	Riego
B. San Miguel	A. Frías	0.60	Libre	42.00	Riego
P. El Sitio	R. Turbio	1.00	Libre	62.50	Riego
P. San Antonio	A. San Antonio	1.20	Libre	-	Riego
P. El Coyote	R. Turbio	2.40	Libre	-	Riego
P. El Tabaco	A. El Tomate	1.14	Libre	16.40	Riego
P. El Tecolote	A. Del Castillo	0.60	Libre	-	Riego
P. Potrerillos	A. Ayo	11.60	Libre	245.00	Riego

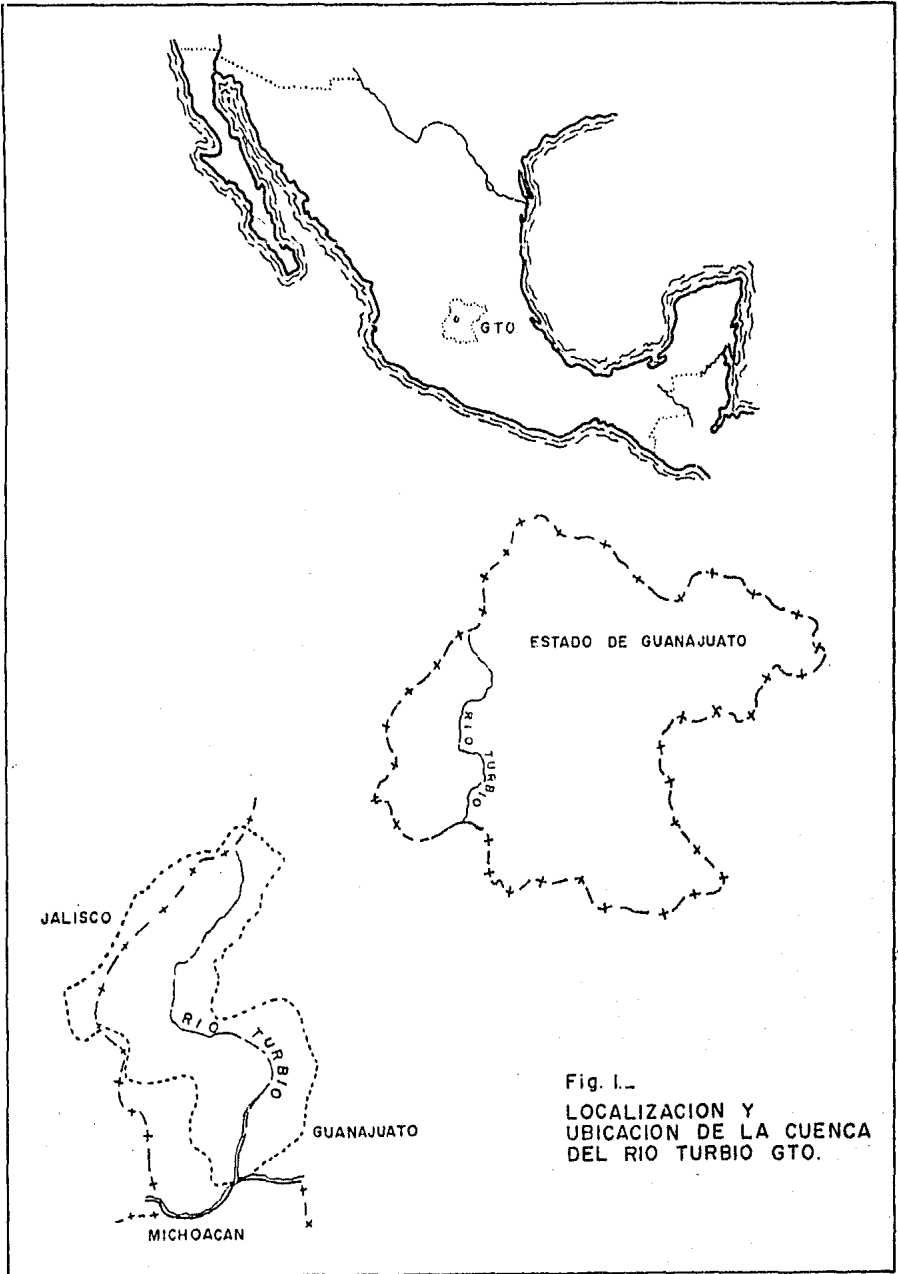


Fig. 1.-
LOCALIZACION Y
UBICACION DE LA CUENCA
DEL RIO TURBIO GTO.

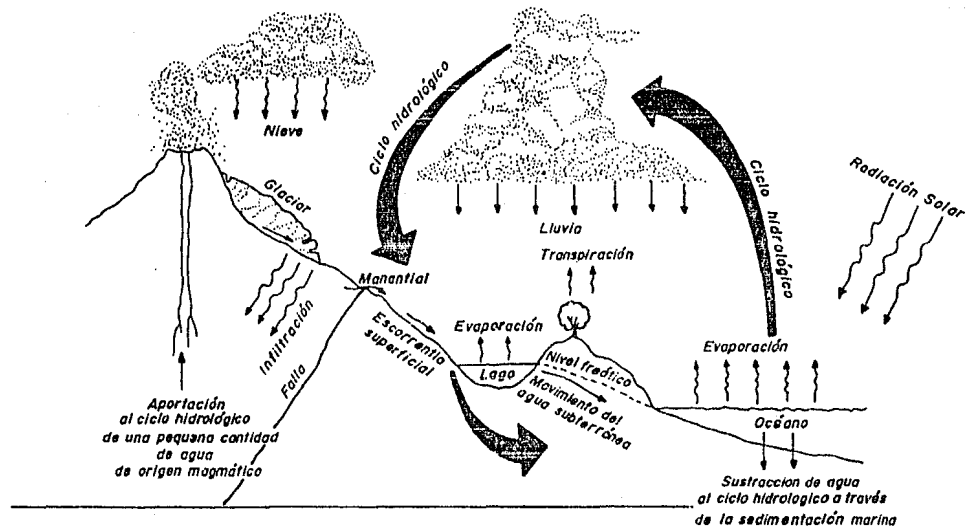


Figura 2 EL CICLO HIDROLOGICO

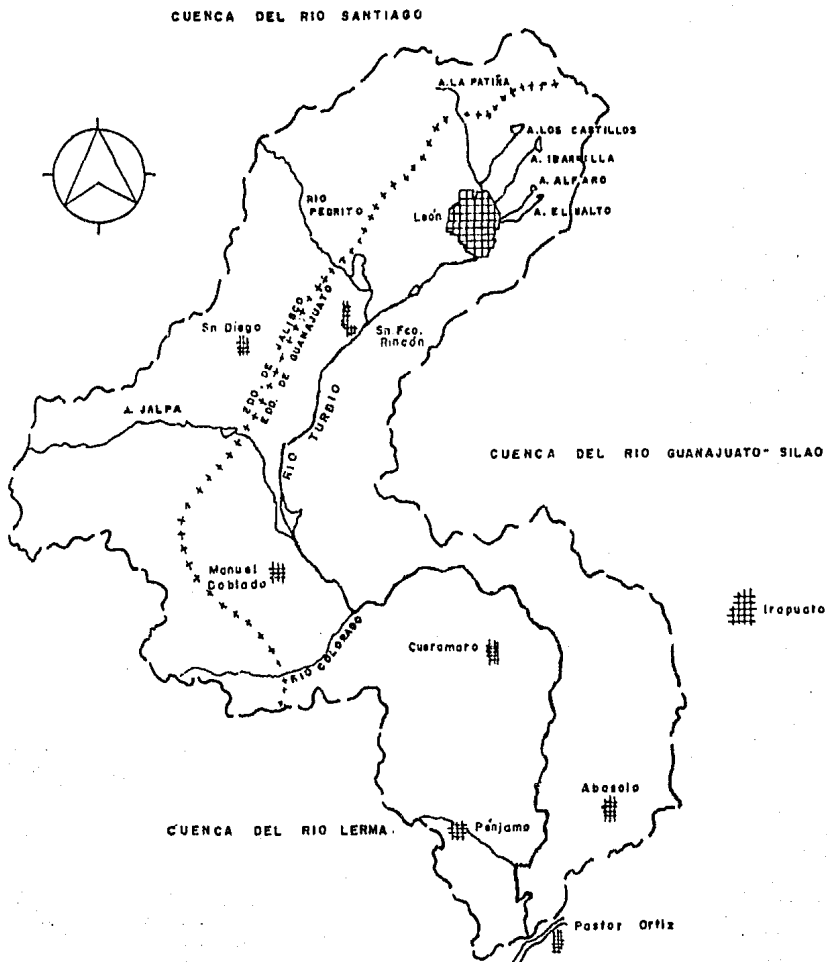


Figura 3 CUENCA DEL RIO TURBIO, AFLUENTES PRINCIPALES

(METODO DE TAYLOR-SCHWARZ)

$$S_g = 960 / 223000 = 0.004305$$

$$S_m = \left(\frac{20}{827.979} \right)^2 = 0.0005835$$

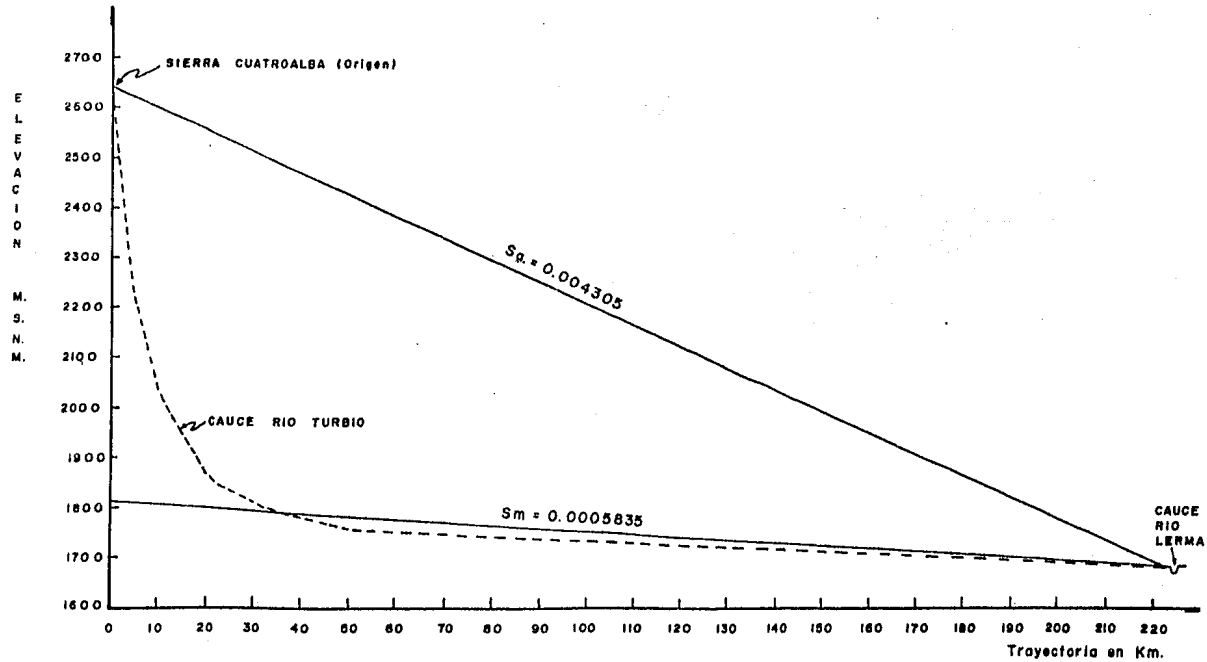


Figura 4 PERFIL Y PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE

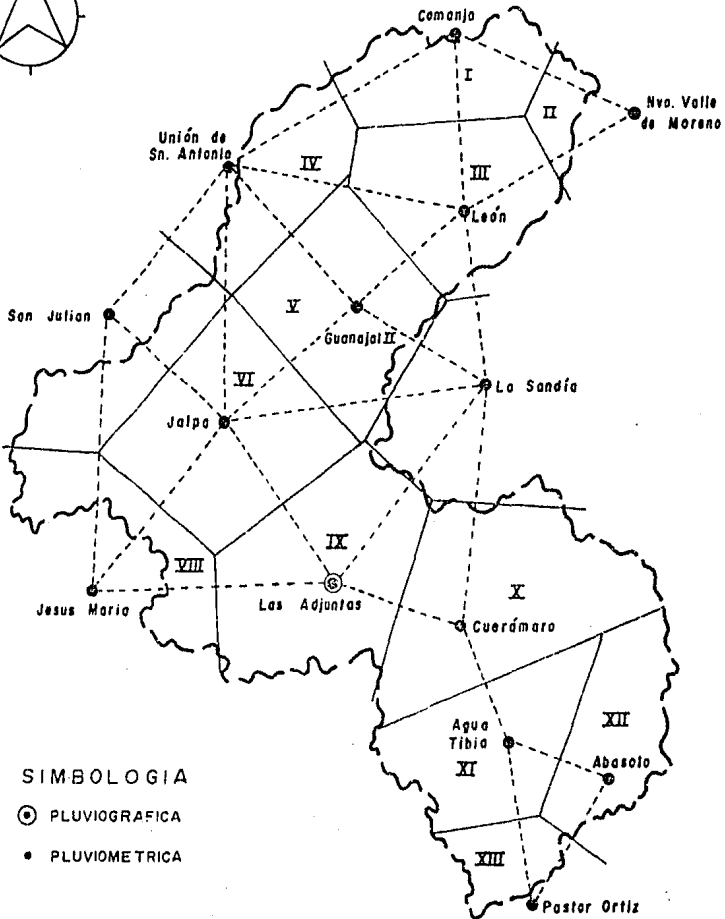
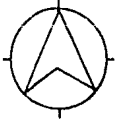


Figura 5 DISTRIBUCION DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS Y POLÍGONOS DE THIESSEN

- ANALISIS DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR -

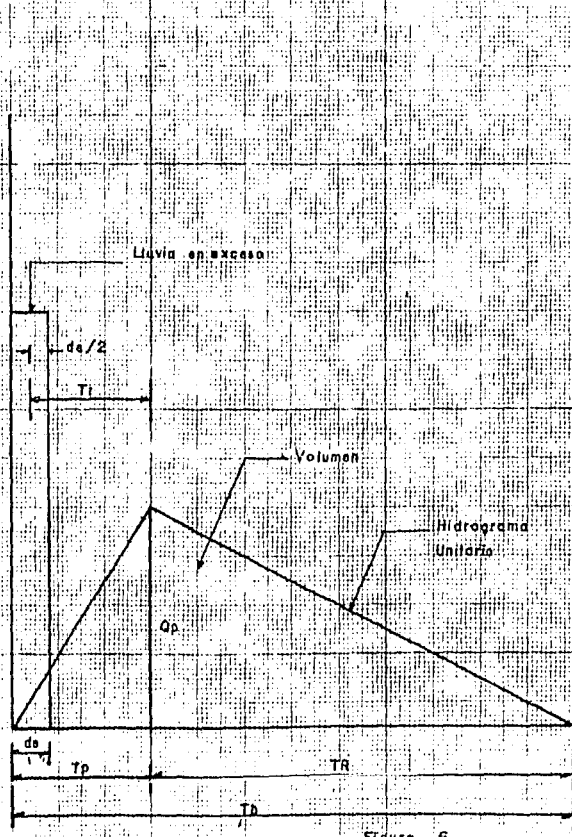


Figura 6

Siendo:

Q_p - gasto de pico, en $m^3/seg.$

ds - duración de la lluvia en exceso, en horas

T_p - tiempo de pico, igual al tiempo entre el inicio y el máximo del escurrimiento directo, en horas

T_r - tiempo de retraso, definido como el tiempo en horas entre el centro de masa de la lluvia y la hora del gasto máximo (Q_p)

T_R - tiempo de recesión en horas desde el gasto máximo hasta el final del escurrimiento directo

T_d - tiempo base del hidrograma en horas

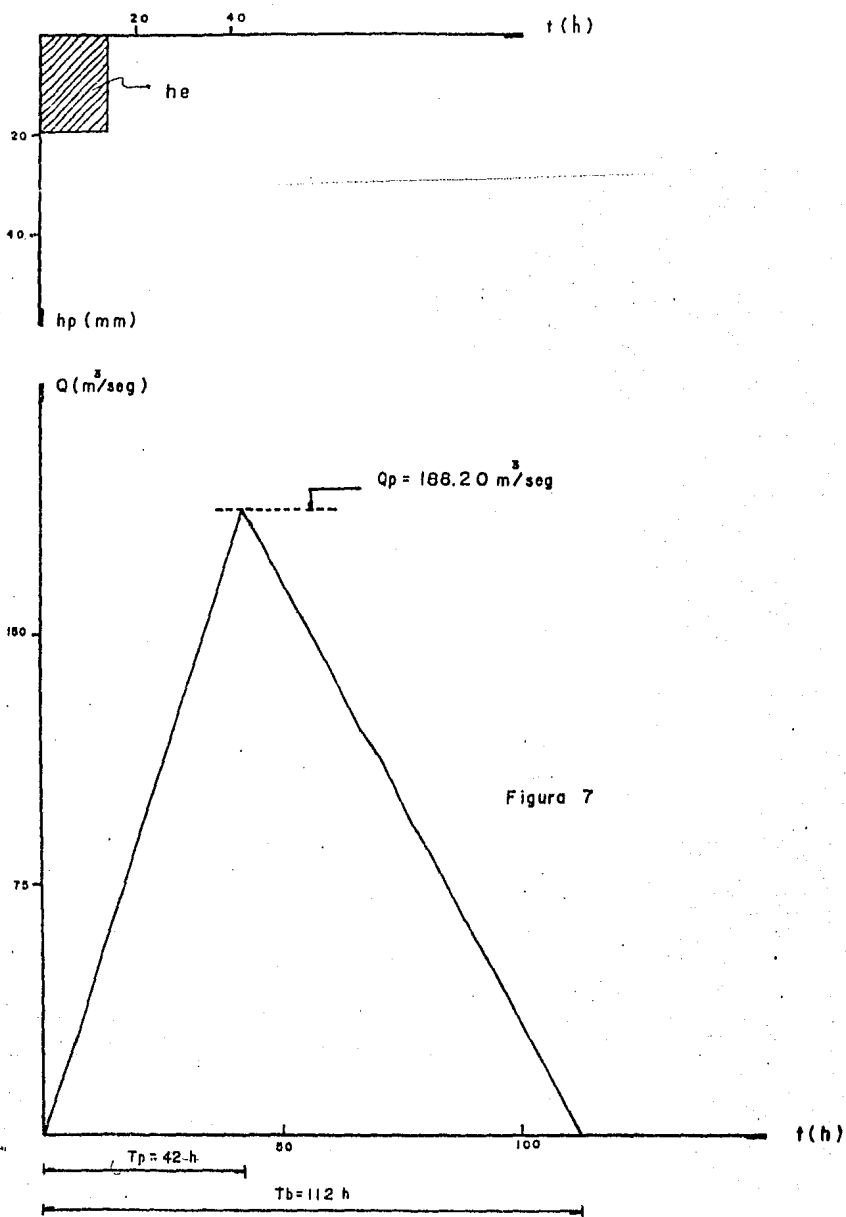


FIG. 8 DIAGRAMA DE FLUJO CUENCA DEL RIO TURBIO

