

93



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO HIDROLOGICO Y DE PROTECCION
CIVIL DE LA CUENCA BAJA DEL RIO TUXPAN

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:

SAID LUDIM NAVARRETE AVILA

FACULTAD DE
INGENIERIA



DIRECTOR DE TESIS: ING. ALFONSO MORALES GARCIA

MEXICO, D. F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/188/2001

Señor
SAID LUDIM NAVARRETE
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ALFONSO MORALES GARCIA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DE PROTECCIÓN CIVIL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO TUXPAN"

- INTRODUCCIÓN
- I. CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA
 - II. NOCIONES DE METEOROLOGÍA Y PROTECCIÓN CIVIL
 - III. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA
 - IV. ANÁLISIS DE LA CUENCA EN EL SITIO DE ESTUDIO
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitario a 16 noviembre 2001.

EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GEB/GMP/mstg.

Agradecimientos

A Ruth y Miguel Ángel, mis padres, que gracias a su apoyo total llegué hasta este momento de mi vida.

A todos mis compañeros y amigos, hombres y mujeres, dentro y fuera de la escuela, por estar presentes en el momento indicado, tolerarme, estimularme, inspirarme, tenerme paciencia y corregirme.

A los profesores, investigadores y personal de la Facultad de Ingeniería, Instituto de Ingeniería, CENAPRED, INEGI y CNA; que estuvieron dispuestos a cooperar en todo lo necesario para integrar este trabajo.

Y a todas las personas presentes en mi memoria y en mi corazón que recordaré por haber facilitado la realización del documento y me dieron soporte para concluir la tesis.

Los nombres no importan, ellos saben de su generosa y desinteresada ayuda.

"Son muchas las sendas que aparecen, pero una vez que se elige un camino hay que seguirlo hasta el final."
Peter Matthiessen.

"No imagines que el viaje es breve, hay que tener corazón de león para seguir ese camino escondido, porque es muy largo... Se avanza penosamente, sobrecogido por el asombro, unas veces sonriendo, otras llorando." Peter Matthiessen.

"Ahora ya terminaste, así es, bordeaste el flamígero horizonte y por fin abandonas la pradera concentrada de diversos recuerdos y olvidos, manías y vicios, amistades y regocijos, gracias y flores, acciones y rezos, pasiones y maldiciones; no sé si disfrutaste tu estancia, pero ya no estas ahí, además te diste cuenta que el escalón siguiente es aún más alto; en la cima te espera un telón donde detrás está el gran espectáculo que no es familiar para luego en tu conciencia revivas el papel de protagonista, forjando un desenlace propio." Said Navarrete

"Sirvió el Via crucis que se tornaba en ocasiones en sendero brillante para que relucieran ciertas joyas de tu alma, sin esfuerzo voluntario ya conociste tu plan, deseas transformar tu estado de dependencia y cambiarlo. Sabes de tu mirada aguzada que no se engaña con la maraña del circo humano, ya no tienes inocencia y tolerancia por las pinturas irreales que te obsequiaron los demás, te aliviaste por fin del secreto maldito por una vida alucinada a la usanza del peor idiota iluso que hayas conocido." Said Navarrete

"Recuerda que tendrás frente a ti la maravillosa realidad que no conoce de escrúpulos y engaños, no esconde nada ante nadie, cruda nació y así seguirá para todos; ya traspasaste el edificio irreal, ahora en las calles de una vida nueva caminas. Tu demonio y tu ángel se disputan tu presencia allá afuera porque invocaste la duda y temor, la flagelación comienza y te sirve para que en la mente digieras las palabras que anotaste, ino te tortures más, avanza y defiéndete, lucha y vence! Así con tu magnífico monólogo demuestras tu equivalencia con el sabio merodeador de tus deseos." Said Navarrete

Contenido

Introducción	1
Antecedentes	1
Objetivos	4
Motivo	6
1. Conceptos básicos de hidrología	9
1.1. Hidrología	9
1.1.1. El ciclo del agua	9
1.1.2. Precipitación	14
1.1.3. Escurrimiento	17
1.1.4. Infiltración	19
1.1.5. Evaporación, transpiración y evapotranspiración	20
1.2. La cuenca	21
1.2.1. Características de una cuenca	22
1.3. Curva masa y hietograma	25
1.3.1. Hietograma medio	27
1.4. Hidrograma	27
1.5. Ingeniería hidrológica	32
2. Nociones de meteorología y protección civil	35
2.1. Meteorología	35
2.2. Atmósfera	36
2.2.1. Nubes	37
2.2.2. Presión y viento	38

2.3. Precipitación	39
2.4. Factores perturbadores y el ciclón tropical	40
2.5. Inundaciones	46
2.6. Protección civil	47
3. Características de la cuenca	55
3.1. Localización, superficie y área de influencia	55
3.2. Características físicas y biológicas	62
3.2.1. Hidrografía	62
3.2.2. Orografía	65
3.2.3. Geología y tipo de suelo	66
3.2.4. Flora y fauna	67
3.2.5. Climatología	67
3.2.5.1. Lluvia	68
3.2.5.2. Temperatura	69
3.2.6. Fenómenos naturales adversos y problemáticas dentro de la cuenca	70
3.3. Estaciones hidrométricas y climatológicas	71
3.3.1. Estaciones hidrométricas	71
3.3.1.1. Características del cauce y aforo	72
3.3.2. Estaciones climatológicas	72
3.4. El puerto de Tuxpan	73
3.5. Historia y situación actual de Tuxpan	75
3.5.1. Síntesis de hechos históricos relevantes en la ciudad y el puerto de Tuxpan	79
3.6. Reseña histórica de afectaciones por ciclones tropicales en la cuenca	81
3.6.1. Creciente de septiembre de 1954	82
3.6.2. Crecientes de julio y agosto de 1961	82
3.6.3. Creciente de septiembre de 1967	82
3.6.4. Inundaciones del mes de octubre de 1999	84

4. Análisis de la cuenca en el sitio de estudio	91
4.1. Hidrograma unitario	91
4.2. Hidrograma unitario sintético	96
4.2.1. Hidrograma unitario adimensional	97
4.2.2. Hidrograma unitario geomorfológico	98
4.3. Aplicación	100
4.3.1. Metodología	101
4.3.2. Generación de hidrogramas	102
4.3.2.1. Procedimiento 1. Hidrograma unitario generado por el método del hidrograma unitario adimensional aplicado en toda la cuenca del río Tuxpan	102
4.3.2.2. Procedimiento 2. Hidrograma unitario generado por los métodos del hidrograma unitario adimensional y el hidrograma unitario geomorfológico aguas abajo de la estación Álamo	103
4.3.3. Cálculo del gasto de diseño	106
4.4. Obras de protección y legislación sobre protección civil	108
4.4.1. Obras de protección	108
4.4.2. Legislación sobre protección civil	110
5. Conclusiones y recomendaciones	113
Bibliografía	121
Anexo A	125
Anexo B	133
Anexo C	151

Introducción

Antecedentes

Las costas del litoral mexicano son zonas muy importantes para el desarrollo del país porque en estos sitios se encuentran puertos, pueblos y ciudades, parques industriales, centros de comercio y demás infraestructura que permite la realización de diversas actividades tales como intercambio de mercancías nacionales y extranjeras, explotación de recursos naturales, procesamiento y transformación de materias primas; sin olvidar la actividad turística que ha generado la creación de corredores turísticos. Los puertos son vías que permiten la comunicación con otros países, en ellos, pasajeros se transportan y las mercancías son exportadas e importadas.

En los últimos cuarenta años el turismo ha crecido de forma considerable, de tal forma que actualmente representa una gran fuente de ingresos para la nación, ya que las costas mexicanas ofrecen excelentes atractivos como son las playas, los esteros, los acantilados y toda la biodiversidad que en ellas existen, además de los mencionados corredores turísticos en donde se encuentran hoteles, restaurantes y demás servicios que hacen de los visitantes su estancia agradable.

Se sabe que en la costa del Golfo de México y aún en grandes extensiones tierra adentro se localizan en el subsuelo importantes yacimientos de petróleo; es gracias a este recurso no renovable que el país ha podido crecer y desarrollarse por más de medio siglo. Los más recientes sondeos realizados por Petróleos Mexicanos confirman que los yacimientos se agotan pero

también informan que existen otros cerca de la costa, lo que convierte a estos sitios en zonas estratégicas para el crecimiento de la nación mexicana.

No hay que olvidar a las comunidades que se han establecido desde hace siglos en las costas; en el Golfo de México y en específico en la costa sur del actual estado de Veracruz y una importante porción de la costa del estado de Tabasco se estableció hacia el año 1200 a. C., el pueblo Olmeca conocida como la cultura madre; posteriormente nació la cultura Huasteca al norte de Veracruz y el estado de Tamaulipas, esta subsistió gracias a la abundancia de recursos naturales con que cuenta la zona. Además a lo largo del centro de Veracruz se desarrollaron varios pueblos más pequeños siendo su centro El Tajín. Como se puede observar históricamente ha sido la costa del Golfo de México, desde ese entonces, una región donde convergen varias comunidades que mantienen relaciones políticas, culturales y de comercio.

En la época colonial se fundaron importantes puertos y ciudades siendo el más importante el de la Villa Rica de la Vera Cruz. Este puerto además de ser en la actualidad una ciudad con gran actividad económica, que cuenta con una población importante, fue escenario de grandes batallas que se libraron para defender el territorio nacional debido a la invasión de naciones extranjeras. Otro importante puerto es el de Tuxpan donde se desarrolló la cultura Huasteca; la característica principal de este puerto es que es fluvial ya que se desarrolla en la desembocadura del río del mismo nombre.

Las regiones costeras junto con los ríos se ubican dentro de cuencas y forman parte de un complejo sistema en donde varios factores intervienen en un proceso interesante. La orografía del país es muy característica ya que a lo largo del mismo, corren dos cordilleras que forman una barrera natural que retiene la humedad y permiten el origen de varios escurrimientos que derivan en diversas corrientes que a su vez forman los ríos que desembocan en el mar. Los ríos del Golfo de México más importantes de la zona central y norte del estado de Veracruz son el Tuxpan, el Cazones, el Tecolutla, el Nautla y el Actopan, estos ríos tienen una longitud media y un llevan un caudal no muy

grande y una de las causas es que solo llevan el agua que la Sierra Madre Oriental les proporciona a una corta distancia de la costa. Desde las partes altas de las cordilleras se encuentran algunas importantes comunidades que han conformado un horizonte diferente al original, o sea, con la construcción de viviendas, infraestructura y existencia de grandes zonas de cultivo han transformado el suelo y al no existir cobertura vegetal, permite que el agua circule más rápidamente sobre el suelo, lo que a su vez también provoca una mayor erosión. En las planicies costeras las poblaciones han crecido y forman grandes ciudades – puertos que como se dijo anteriormente, son importantes sitios comerciales e industriales lo que ha llevado a la construcción de fábricas, patios, almacenes, avenidas, carreteras, edificios y demás; lo que implica una transformación muy severa de la original topografía, fisiografía y el muy importante ecosistema.

El ecosistema de las regiones costeras es muy diverso y delicado, se alimenta gracias a los nutrientes que el suelo desde las partes altas hasta las costas proporciona y que es transportado por ríos y arroyos. Pero el ser humano ha hecho cambios radicales en las cuencas, aunado a esto, la contaminación que se produce derivada del desarrollo y crecimiento de centros urbanos han logrado en conjunto que el equilibrio se rompa lo que provoca severos daños en la ecología, muchos de ellos irreparables, y por supuesto que al hombre mismo.

Un fenómeno importante que ocurre en estas zonas son los ciclones tropicales, en la temporada que suceden envisten las costas llevando gran cantidad de humedad hacia el continente y en muchas ocasiones, generando escurrimientos extraordinarios que no pueden ser contenidos dentro del cauce de los ríos existentes. Esto provoca desbordamientos que a su vez producen inundaciones en grandes zonas donde generalmente se encuentran las comunidades y terrenos cultivables. Las inundaciones generan graves problemas en las ciudades que se ven afectadas por la falta de infraestructura o porque la capacidad de la existente no permite controlar la cantidad de agua que llega en abundancia a sus obras. Se destruyen caminos y puentes, se

afectan las casas y edificios; en general se daña la estructura de la sociedad. En el caso de terrenos cultivables, se anegan zonas en donde es imposible sembrar o en su caso, el cultivo existente se pierde en su totalidad.

Objetivos

Como se puede ver, las costas son zonas muy interesantes porque intervienen factores diversos como los sociales, económicos, políticos y ecológicos. Es labor de la ingeniería hacer lo concerniente para proteger estos aspectos e intereses haciendo lo necesario para prevenir, controlar y mitigar los desastres. El siguiente trabajo involucra varios de estos aspectos y se escogió para el estudio la ciudad y el puerto de Tuxpan así como la cuenca del río del mismo nombre. La razón por la cual se concentraron los esfuerzos en esta cuenca en particular y su puerto, es porque se trata de un sitio con gran potencial de crecimiento ya que compite con otros puertos importantes del mismo litoral como son el de Veracruz y el de Altamira, Tamaulipas. En el caso del puerto de Veracruz, compite directamente por la saturación y falta de espacios de éste, lo que lleva al puerto de Tuxpan a ser una opción interesante. El puerto de Tuxpan tiene la característica de que es un puerto fluvial donde aún se planean obras y tiene grandes espacios no ocupados para la creación de corredores turísticos, desarrollos comerciales e industriales. En esta zona se encuentran grandes yacimientos de petróleo que todavía no se han explotado del todo, además se trata del puerto más cercano a la Ciudad de México lo que lo hace aún más atractivo.

En los últimos años la presencia de lluvias extraordinarias dentro de la cuenca ha provocado daños importantes en las poblaciones que habitan las zonas serranas y partes más bajas cercanas a la costa, dañando la infraestructura y zonas importantes de cultivo, por lo cual en el año 2000 se llevaron a cabo obras de protección en el cauce del río Tuxpan y en su área de influencia. Cabe señalar que en esta cuenca solamente existe la estación hidrométrica Alamo que realiza aforos del río y en las crecientes de mes de octubre de 1999 se destruyó, lo que lleva a una escasez de datos para aplicar métodos

tradicionales de análisis hidrológico. Aún así se hizo un estudio hidrológico con insuficiencia de datos por lo que la Comisión Nacional del Agua propuso gastos con sus respectivos periodos de retorno; con esto se puede inferir que las obras fueron construidas con resultados posiblemente erróneos. Es por esto último que es necesario llevar a cabo un nuevo estudio hidrológico de la cuenca para obtener hidrogramas unitarios y posteriormente determinar el gasto de diseño que en el río circula y desemboca al Golfo de México.

Por todo lo anterior, se debe considerar la seguridad de esta cuenca como una prioridad ya que sufre de la incidencia constante de ciclones tropicales, que en los últimos años, han producido grandes desgracias por mala operación, falta de mantenimiento, ausencia o insuficiencia de infraestructura para el control de los escurrimientos extraordinarios.

El siguiente trabajo se enfoca a un análisis hidrológico, incluyendo un breve estudio en cuestiones meteorológicas y de protección civil, también se toman en cuenta asuntos sociales e históricos que permiten ver la importancia de la zona en estudio, para el desarrollo económico local y su zona de influencia. Se divide en cuatro capítulos. En el primero se definen diversos conceptos de hidrología que son lo básicos para cualquier estudio al respecto, los conceptos básicos son definidos según conocimientos y experiencia propia, además de que se toman definiciones establecidas en otros trabajos para su mejor comprensión. En el segundo capítulo se hace una introducción a nociones de meteorología y protección civil; en el caso de meteorología es necesario conocer estos conceptos para entender más claramente el estudio sobre todo porque se relacionan directamente con la hidrología, además de la importante parte de protección civil donde se mencionan los aspectos básicos de medidas en este ámbito que involucran a varios sectores de la sociedad y el gobierno en caso de la incidencia de un fenómeno hidrometeorológico. En el tercer capítulo se hace mención de las características de la cuenca; estas son en un primer gran apartado, características físicas y biológicas; en la segunda parte de este capítulo se mencionan las características sociales, históricas, demográficas y económicas de la ciudad y el puerto de Tuxpan, y se encuentra al final una

reseña histórica de los fenómenos meteorológicos que afectaron al puerto en el siglo XX. En el cuarto capítulo se lleva a cabo el análisis hidrológico de la cuenca en específico en la parte baja del río Tuxpan hasta la desembocadura al Golfo de México, se usaran dos métodos sintéticos para la generación de los hidrogramas unitarios llamados adimensional y geomorfológico, posteriormente se calculan gastos de diseño para ambos métodos aplicados y finalmente se comparan los resultados obtenidos; en la segunda parte de este cuarto capítulo se describen las obras de protección en el río para evitar y mitigar los efectos de los desbordamientos y se incluye una pequeña parte de legislación donde se presentan las leyes y reglamentos que se encuentran vigentes en el estado de Veracruz en materia de protección civil.

El resultado de este estudio es de gran importancia para un posterior análisis hidráulico y la propuesta de soluciones estructurales que no son tema de este trabajo. Además de que se pueden llevar a cabo análisis similares en otras cuencas con las características que presenta esta, es decir, que cuente con centros urbanos grandes, grandes extensiones de cultivo, infraestructura portuaria, industrial y turística, que sean afectados por la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos sobre todo de ciclones tropicales que provocan inundaciones.

Motivo

El puerto de Tuxpan ha tenido en los últimos años un importante crecimiento debido a la saturación en el puerto de Veracruz, lo que lleva a Tuxpan como una opción adecuada, por ser el puerto más cercano al centro del país y de la Ciudad de México, muchos proyectos de ingeniería civil están en proceso de culminarse y otros ya han concluido con el fin de expandir el puerto, ofrecer mejores servicios y de mejor calidad. Se ha contemplado últimamente en cada proyecto el tema del impacto ambiental y el impacto social que conlleva la ejecución de dichos proyectos; también la explotación de sus recursos naturales y por supuesto la creación de fuentes de empleo para formar una importante zona comercial, turística e industrial.

Este estudio de la cuenca baja del río Tuxpan tiene un alcance importante en cuanto a su metodología, ya que gran parte de las cuencas que forman los ríos de Veracruz y de otros estados que desembocan en el Golfo de México, tienen características fisiográficas y geomorfológicas similares al río Tuxpan. Otra razón por la cual se escogió este tema para llevar a cabo un trabajo de tesis, es principalmente porque se considera que la seguridad en las comunidades debe ser una prioridad dentro de la agenda política de las autoridades correspondientes; ya que factor climático perturbador, que afecta este estado es la presencia de ciclones que ocasionan grandes daños a la población y a la infraestructura, debido a que no existen programas integrales de protección civil.

El estado de Veracruz y los estados circunvecinos han tenido históricamente rezago en los sectores agropecuario, ambiental y todos los relacionados con la parte social, cultural y política. Es necesario conocer cada zona y cuenca desde los recursos naturales hasta las comunidades que habitan esos lugares; conocer las actividades económicas, forma de vida, nivel sociocultural y relaciones con otras comunidades; la infraestructura con la que se cuenta y la que hace falta; el deterioro ambiental, los factores climáticos perturbadores; las oportunidades de crecimiento y como se pueden aprovechar sus recursos, etc.

Un eslabón básico es precisamente los estudios de ingeniería y en especial los estudios de hidrología. Entonces por todo lo anterior es básico el análisis detallado de esta cuenca. En especial la cuenca del río Tuxpan tiene un gran potencial de crecimiento y se debe de atender todo lo concerniente para que, con la correcta planeación, crezca de forma armoniosa, beneficiando a la población regional, a las comunidades cercanas, al ecosistema y al país en general.

1. Conceptos básicos de hidrología

1.1. Hidrología

La hidrología es el estudio del comportamiento del ciclo del agua, desde el momento en que se presenta en la atmósfera como agua precipitable, la precipitación como fenómeno en sí, los procesos por los que el agua pasa en la superficie terrestre y hasta el instante en que regresa en forma de vapor a la atmósfera. Los procesos que el agua experimenta son la circulación y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre, además de la interacción con los seres vivos incluyendo al ser humano. La hidrología se divide en dos grandes estudios; el primero es la hidrología superficial y el segundo es la hidrología subterránea. En este caso se enfoca el análisis a la hidrología superficial y cuando se mencione el concepto de hidrología es referente a la superficial. Para el estudio del ciclo del agua en este caso se partirá con el fenómeno de la precipitación que es cuando el agua cae a la superficie terrestre y comienza un interesante proceso.

1.1.1. El ciclo del agua

El agua cae a la superficie terrestre en forma líquida o sólida, puede encontrar como receptor al suelo, a la vegetación y a cuerpos de agua existentes. Cuando se encuentra sobre el suelo, dependiendo de varias condiciones físicas, el agua puede escurrir cuando ya se encuentra saturado el suelo mismo o no es lo suficientemente permeable; también puede infiltrarse al subsuelo y circular dentro de él. En el momento en que el agua escurre se expone a la radiación solar que

provoca la evaporación, también es absorbida por los seres vivos que la aprovechan y en el caso del ser humano por lo general la deposita en estanques que ha construido para este fin. El agua que sigue escurriendo llega a corrientes o ríos para luego terminar en cuerpos existentes como mares, lagunas y lagos, en estos cuerpos y en el camino a ellos el agua también se infiltra y evapora. Toda el agua evaporada se dirige a la atmósfera para continuar con el ciclo del agua o ciclo hidrológico.

El ciclo del agua o hidrológico es la base de cualquier estudio de hidrología, al ser un ciclo no se puede definir un principio o un final del mismo ya que es continuo, pero se toma algún punto fácil de comprender para partir desde ese momento y explicarlo. Retomando lo anterior, el agua que se infiltra recarga los depósitos subterráneos y circula en las capas del subsuelo para luego salir en forma de manantiales alimentando otras corrientes, el flujo subterráneo es difícil de estimar y es materia de otra disciplina como lo es la hidrología subterránea o geohidrología. El agua que esta depositada por lo general tiene mayor exposición a los rayos solares y se evapora en mayor cantidad que el agua circulante en las corrientes, pero también se infiltra hacia los niveles inferiores del subsuelo. El agua evaporada se condensa y forma nubosidades.

Dentro de la cuenca, existen seres vivos que aprovechan el agua que es necesaria para su subsistencia, así las plantas absorben gran cantidad de agua de lluvia y a esto se le llama *uso consuntivo*; el ser humano construye y opera obras hidráulicas teniendo como función la de almacenar y aprovechar el agua circulante. Los usos que el hombre da al agua almacenada van desde el consumo para agua potable, servicios domésticos, servicios públicos, riego de parques y jardines, tomas de agua para el uso de estaciones de bomberos y llenado de albercas, esto es si hablamos de pueblos y ciudades; también la usa como parte en los procesos industriales que puede llegar a ser materia prima o para enfriamiento y lavado, en el campo para riego de cultivos, vías de comunicación, piscicultura y llenado de estanques, generación de energía eléctrica, entre otros muchos usos. Existe un gran problema cuando el ser humano aprovecha el agua, la degrada y la descarga

sin ser tratada para regresar a su estado natural; entonces se deposita en ríos y lagos en forma de aguas residuales que contienen grandes cantidades de materia orgánica, químicos, metales y demás contaminantes que afectan los ecosistemas que dependen del agua que circula en ríos, lagos y mares. Existen otros fenómenos, los cuales se presentan en el ciclo hidrológico como son la *percolación profunda* y la *capilaridad*. Para comprender mejor el proceso del ciclo hidrológico se apoya generalmente en un esquema como el que se muestra en la figura siguiente (figura 1.1).

Todo este proceso que se lleva a cabo en la superficie terrestre está condicionada a factores que intervienen directamente en la incidencia de precipitación, infiltración, escurrimiento y evaporación, estos factores son la topografía del lugar que limitan ciertas áreas de concentración, la geología y tipo de suelo que afectan directamente el escurrimiento y la infiltración; también la vegetación y el nivel de urbanización afectan directamente estos procesos del ciclo hidrológico. Para comprender mejor este complejo ciclo se usa el concepto de un sistema y es entonces cuando el ciclo hidrológico se llama *sistema hidrológico*, en él intervienen componentes que interactúan entre sí; estos componentes son las diversas fases del ciclo como la precipitación, la evaporación, el escurrimiento, la infiltración y otros componentes como la percolación profunda y la capilaridad. Los fenómenos que operan sobre los componentes son el viento, la presión atmosférica, la temperatura, la permeabilidad del suelo, entre otros muchos más.

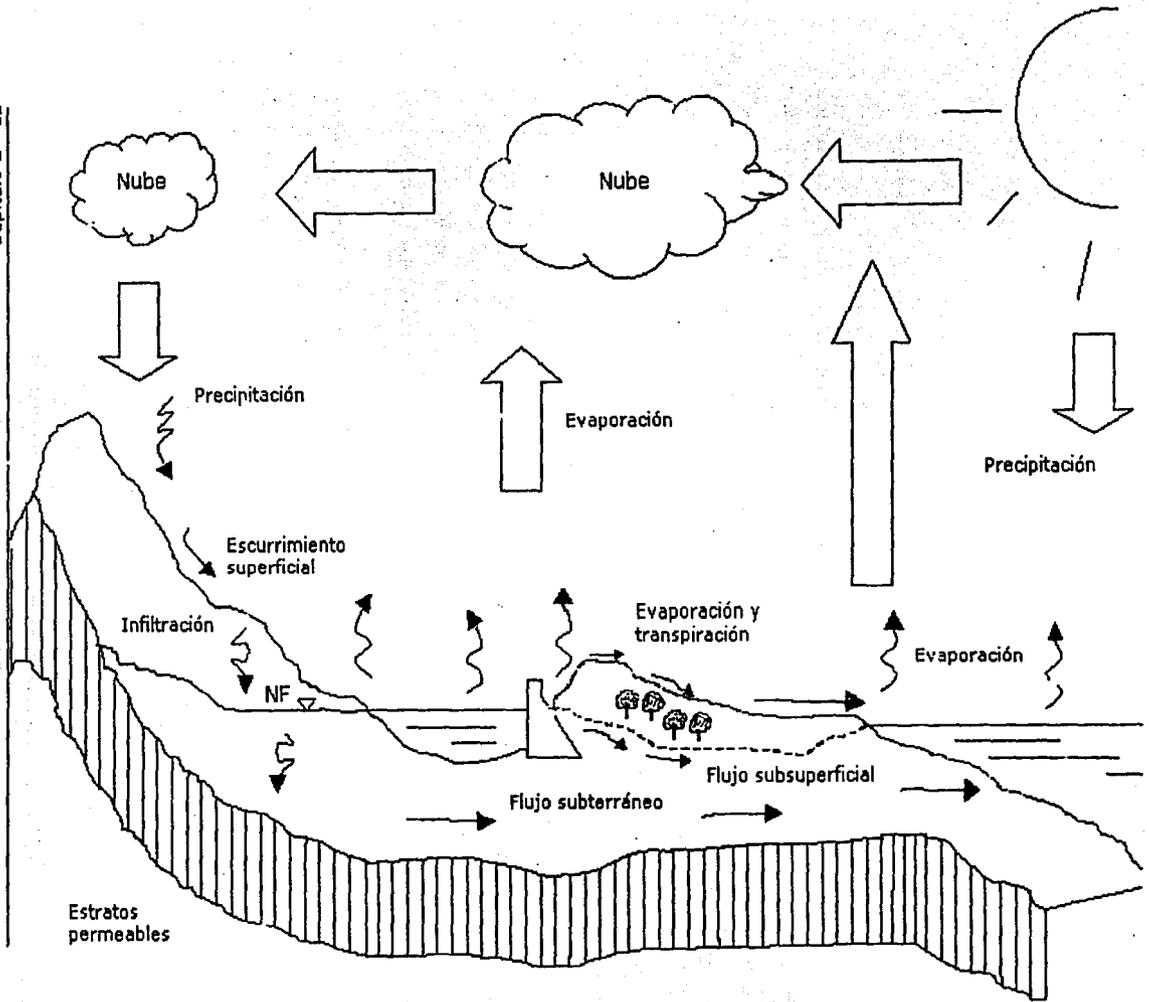


Figura 1.1. Ciclo Hidrológico

Debido a que este ciclo ocurre en toda la superficie terrestre es muy difícil explicarlo como un todo en conjunto y para simplificarlo se toma una frontera física que permita comprender el sistema y como actúa en esa determinada área, también se toma una porción de tiempo o momento para partir desde ahí. Como todo sistema debe tener entradas y salidas, así para el ciclo hidrológico se tiene una frontera natural que dentro de ella se lleva a cabo el proceso, esta es la *cuenca*; tiene entradas de agua siendo la lluvia la principal. Luego por medio del viento, presión, permeabilidad del suelo y calor sufren diversos cambios para después salir por medio de la evaporación, el escurrimiento y la infiltración.

Se han hecho estudios para estimar la cantidad de agua que circula en la tierra en los diferentes estados físicos, los datos que a continuación se presentan no son exactos pero dan una idea de la cantidad de agua que en estado líquido pero en condiciones no potables se encuentra en el planeta (tabla 1.1).

Lugar	Porcentaje	Tipo
Océanos	96.5	Agua salada
Hielos polares	1.7	Agua dulce
Manantiales subterráneos	1.7	Agua dulce y salada
Agua superficial y atmosférica	0.1	Agua dulce

Tabla 1.1. Distribución del agua en la tierra

1.1.2. Precipitación

Para que este fenómeno se presente, es necesario que se conjunten diversas condiciones físicas en la atmósfera que permitan que el vapor de agua se condense y finalmente se precipite. La precipitación del agua ocurre en el momento en que en la atmósfera las gotas de agua son lo suficientemente pesadas para que la gravedad actúe sobre ellas y las haga caer sobre la corteza terrestre. Las condiciones mencionadas son las referentes a la temperatura, la presión de vapor y la presión atmosférica. Y para que las pequeñas gotas de agua se precipiten necesitan de un núcleo que por lo general son partículas suspendidas en la atmósfera para que con el peso suficiente cedan y caigan a la corteza terrestre.

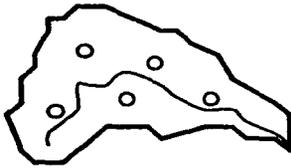
Las gotas de agua al caer sufren cambios físicos según las condiciones climatológicas sobre todo la temperatura, así pueden caer en forma líquida como la lluvia que conocemos, en forma congelada como la nieve y el granizo o en forma combinada como la aguanieve. También las nubes se precipitan cuando se encuentran barreras naturales como son las montañas y volcanes.

Es necesario para hacer un estudio hidrológico medir la cantidad de precipitación que cae en determinado sitio de interés; para medir la precipitación en forma de lluvia se usan unos instrumentos llamados pluviómetro y pluviógrafo. Al medir la cantidad de lluvia se puede representar gráficamente en un diagrama llamado *pluviograma* (figura 1.2). El pluviógrafo es similar al pluviómetro solo que determina directamente este diagrama. Del pluviograma se puede obtener *la intensidad de lluvia* que es la cantidad de precipitación entre su duración.

Otro dato necesario es conocer la *precipitación media* en la cuenca, que como su nombre lo dice, es precisamente el valor de altura de lluvia media que se presenta en la cuenca debido a la precipitación.

Por lo general se tienen diversos pluviómetros y pluviógrafos distribuidos en la superficie de una cuenca. De los datos arrojados por estos instrumentos se obtiene el valor medio mediante tres criterios a saber.

El primer criterio se basa en el *promedio aritmético* que toma en cuenta el número de estaciones dentro de la cuenca y su distribución pero en este caso no toma en cuenta el área de influencia de cada instrumento



○ Pluviómetro

$n = 5$

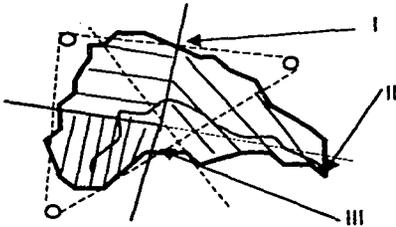
$$\bar{h}_p = \frac{\sum h_{p_i}}{n}$$

h_{p_i} altura de precipitación registrada en cada pluviómetro

n número de pluviómetros dentro de la cuenca

Los métodos que se basan en la distribución y el área de influencia de cada estación son los siguientes:

Polygonos de Thiessen que sí toma en cuenta el área de influencia de cada instrumento por medio de triángulos trazados desde el punto de localización de estos y con la perpendicular en el punto medio de cada lado de los triángulos.



I, II, III Límites del área de influencia del pluviómetro.

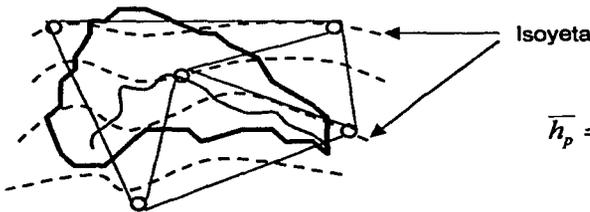
$$\bar{h}_p = \frac{(\sum h_{p_i}) A_i}{A_T}$$

h_{p_i} altura de precipitación registrada en cada pluviómetro

A_i área de influencia de cada pluviómetro

A_T área total de la cuenca

El tercer método muy utilizado es el de las *isoyetas*, que son líneas curvas que unen puntos de igual valor de precipitación trazadas sobre el plano que representa la proyección horizontal de una cuenca.



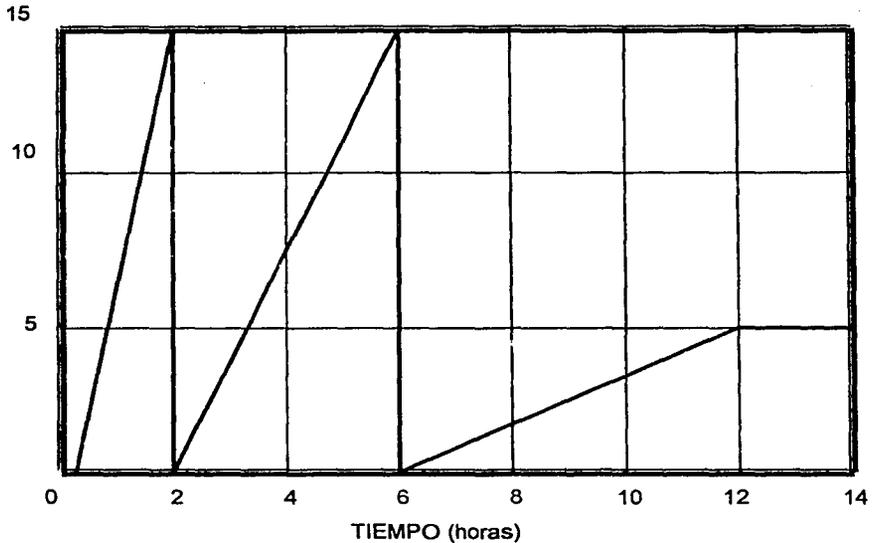
$$\bar{h}_p = \frac{(\sum A_i) \bar{h}_{p_i}}{A_T}$$

h_{p_i} altura de precipitación registrada en cada pluviómetro

A_i área de influencia de cada pluviómetro

A_T área total de la cuenca

ALTURA DE PRECIPITACIÓN "hp" (mm)

**Figura 1.2. Representación de un pluviograma**

1.1.3. Escurrimiento.

Ya que el agua de lluvia ha caído al suelo comienza a circular sobre ella. Según las condiciones de humedad de dicho suelo el agua se puede infiltrar hasta los niveles inferiores lo que puede provocar la saturación del suelo, después de esto el agua restante que circula lo hace sobre la superficie del suelo y se le llama *escurrimiento superficial*. Dentro del escurrimiento superficial existe el que se distingue porque sigue diversos caminos sobre la superficie sin encontrar aún un cauce el cual se le

llama *escurrimiento sobre el terreno* y el otro que por lo general sigue al anterior o desde un inicio encontrar caminos definidos ya que el mismo terreno contribuye a llegar a los cauces para formar este otro tipo llamado *escurrimiento en corrientes superficiales*, y así nace el río o arroyo según el tamaño o cantidad de agua que escurra en ellos.

El agua sigue circulando según la fisiografía de las corrientes hasta depositarse en lagos y lagunas, o encuentra la salida de la cuenca hacia los mares y océanos. También existe el *escurrimiento subsuperficial* que se produce bajo la superficie del suelo pero a una velocidad menos considerable que tiene su punto de salida en las mismas corrientes dentro de la cuenca. No toda el agua circulante en el escurrimiento superficial y subsuperficial llega a la salida de la cuenca o es depositada en las depresiones, otra gran parte se evapora y se infiltra mas profundamente a los mantos acuíferos donde existe el *escurrimiento subterráneo*, donde el agua por el tamaño de los conductos que se forman entre las rocas y a menor escala entre las partículas minerales circula a una velocidad muy baja, permitiendo forman grandes almacenamientos subterráneos. Otra parte del agua circulante o que se escurre es aprovechada por los seres vivos como ya se mencionó anteriormente.

Todo el escurrimiento superficial que haya llegado a la salida de la cuenca se le llama *escurrimiento directo*. Este escurrimiento es generado por una lluvia en particular donde la parte de esta misma que lo produce se le denomina *lluvia en exceso o lluvia efectiva*. Con todo lo anterior se puede decir que no toda lluvia produce escurrimiento; la parte de esta que se infiltra y genera el escurrimiento subterráneo y parte del subsuperficial que no llega a la salida forma el *escurrimiento base* que por lo general alimenta a las corrientes cuando no hay presencia de lluvias.

1.1.4. Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra por los estratos o capas del suelo y se mueve hasta los mantos acuíferos. Este fenómeno se presenta cuando las condiciones de humedad del suelo que son el grado de humedad, la permeabilidad, la velocidad de transmisión del suelo y otras más lo permiten, además por la obvia acción de la gravedad y el efecto capilar el agua se mueve hacia abajo. Al hacerlo, llena los espacios vacíos que encuentre entre las partículas del suelo hasta que llegan a saturarlas y es cuando el agua sigue su camino hacia abajo hasta las capas de rocas donde se encuentran los acuíferos. Es muy importante el estudio del suelo y sus condiciones físicas para conocer el grado de saturación del mismo, así como su geología para poder localizar almacenamientos de agua subterránea que generalmente son explotados en forma de pozos para su aprovechamiento en la superficie por parte del ser humano. Debido a la urbanización de grandes extensiones de terreno, el suelo ya no presenta las características iniciales que permitían infiltrar el agua y recargar los acuíferos, en las ciudades en lugar de suelo natural encontramos capas de concreto y asfalto que impiden el paso del agua y aumentan el escurrimiento.

Por lo general en los estudios hidrológicos se supone que la capacidad de infiltración es constante durante toda una tormenta. Para poder hacer cuantitativo este valor se desprende el concepto de *Índice de infiltración media* (Φ) que es la capacidad de infiltración del agua. Gráficamente se representa como una línea horizontal que se traza en el hietograma medio, de tal forma que la suma de las secciones de barra arriba de él, proporcionan la altura de escurrimiento. Se calcula de diversas maneras según se cuente con registros de precipitación y escurrimiento en el hidrograma estudiado, además de que se especifique el escurrimiento directo y el escurrimiento base (figura 1.3).

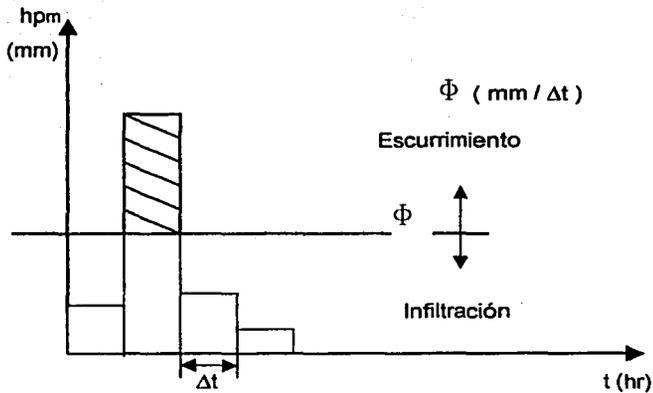


Figura 1.3. Representación del índice de infiltración media en un hietograma

1.1.5. Evaporación, transpiración y evapotranspiración

Cuando el agua está expuesta a la radiación solar ocurre el fenómeno del cambio de estado físico de líquido a gas, entonces por la densidad del mismo vapor y el cambio de presión debido a la temperatura este tiende a subir y concentrarse en cúmulos de gases es decir se condensa el vapor y forma las nubes de vapor de agua. Es decir, es el cambio de fase del agua de un estado líquido a sólido por absorción de calor. A mayor evaporación la atmósfera estará más húmeda llegando más rápido a un estado de saturación, lo que eleva la probabilidad de precipitaciones. Cabe hacer mención que este fenómeno físico es la fase del sistema hidrológico que contribuye en mayor medida después del escurrimiento a la salida de la frontera, o sea, es por este cambio que el agua se pierde en mayor cantidad en la cuenca hidrológica. La mayor parte del agua circulante en los ríos y arroyos se pierde en su trayecto por medio de la evaporación; también la mayor parte de las formaciones nubosas en la atmósfera son debidas a la evaporación

del agua de mar, y por esto es muy importante esta fase del ciclo hidrológico. En grandes extensiones de terreno como las zonas desérticas solamente se presenta evaporación y por medio de la acción del viento, la precipitación ocurre en lugares lejanos con características climatológicas y topográficas especiales como son las cadenas montañosas.

La transpiración es el proceso por medio del cual las plantas después de utilizar el agua que absorbieron para sus procesos metabólicos, la regresan a la atmósfera en forma de vapor. La evapotranspiración es la combinación de procesos de evaporación del agua y transpiración de las plantas y animales por medio de la cuál el agua es transferida a la atmósfera desde la superficie terrestre.

1.2. La Cuenca

Todos los fenómenos físicos antes descritos suceden dentro de áreas específicas de la superficie terrestre que están delimitadas las cuales se les llama cuencas (figura 1.4). En una cuenca el agua que fluya tenderá a concentrarse en un punto específico que puede ser una salida definida o una depresión interna como lo es un lago o laguna. La cuenca hidrológica funciona como un cuerpo receptor en donde el agua de lluvia que caiga dentro de ella contribuye al flujo y todo este volumen de agua se presenta únicamente dentro de la misma; recordemos que en la superficie terrestre se presenta la infiltración entonces a niveles subterráneos el agua penetra y fluye como se mencionó anteriormente, así que para fines de este estudio se consideran los límites de la cuenca en los niveles subterráneos como definidos siendo una proyección vertical de los límites superiores, entonces el suelo se considera impermeable en tales límites. Los límites superiores están dados por los puntos más elevados según la topografía de la superficie terrestre, es decir por las cadenas montañosas, las sierras y demás elevaciones sobre el terreno y la unión de todos esos puntos se le denomina *parteaguas* o línea

divisoria de aguas. Así mismo los puntos de la superficie dentro de la cuenca que tienen los menores niveles topográficos son los *cauces*.

Se ha hecho una clasificación general de las cuencas según la salida o descarga que presenta la misma, así para una cuenca en donde el punto de concentración del flujo es un lago o laguna se le llama *cuenca endorréica* y para las cuencas en donde la salida es un punto de una corriente superficial que desemboca en otro cuerpo de agua se le llama *cuenca exorréica*.

1.2.1. Características de una cuenca

Una cuenca se comporta de diferente manera según la velocidad de respuesta del flujo cuando se presenta una lluvia, es decir, la velocidad con la que la cuenca iniciará el flujo del agua en su punto más alejado hasta la salida, esto depende de ciertas características fisiográficas, tipo de suelo, cubierta vegetal, grado de urbanización, entre otras. Dentro de las características fisiográficas podemos mencionar las siguientes:

- **Área de la cuenca.** Es el área total que presenta la cuenca delimitada por el parteaguas y es la proyección horizontal de la superficie.
- **Corriente principal.** En las cuencas exorréicas, es la corriente superficial que pasa por la salida de la cuenca, esta generalmente tiene otras corrientes que contribuyen al volumen de escurrimiento las cuales se les llama corrientes tributarias o subcorrientes. El número de corrientes tributarias definirá el orden de corrientes en la cuenca.
- **Pendiente de la corriente principal.** Es el desnivel que se presenta entre los extremos de la corriente. Hay diversos métodos para calcularla entre los cuales se mencionan los siguientes: método de pendiente media, método de Taylor y Schwarz.

➤ **Orden de las corrientes.** Se refiere a la asociación o conjunción de tributarios para formar un mayor, es decir, si tenemos una corriente de orden 2 quiere decir que se unieron dos corrientes aisladas (orden 1) en un punto y desde ese punto de unión la corriente es una sola pero ahora de orden 2 y así sucesivamente se forman las de orden 3, 4, etc.

Las corrientes según el tiempo en el que en sus cauces llevan agua se les clasifica en corrientes:

- ◆ **Perennes.** Todo el año llevan agua y están alimentadas por las aguas que circulan al presentarse la lluvia, o sea por el escurrimiento superficial, por el escurrimiento sub-superficial y por el escurrimiento subterráneo.
- ◆ **Intermitentes.** Llevan agua cuando el nivel de aguas freáticas haya aumentado a causa de precipitaciones, pero una vez que este nivel disminuya el flujo en el cauce comienza a disminuir hasta que desaparece.
- ◆ **Efímeras.** Solamente llevan agua en sus cauces cuando se presentan escurrimientos debidos a precipitaciones, es decir escurrimiento directo y una vez que el flujo superficial termina, el flujo en estos cauces también desaparece.

Se pueden determinar más características fisiográficas de una cuenca como puede ser la *longitud de los tributarios*, *densidad de drenaje*, *densidad de corrientes* y la *elevación de la cuenca*.

Para determinar las características fisiográficas de una cuenca, trazar el parteaguas y detallar los cauces, se hace uso de las *cartas topográficas* que contienen información importante como las *curvas de nivel* que son líneas que tienen una misma altitud, también proporcionan datos como presencia de zonas urbanas y poblaciones, localización de infraestructura, tipo y uso de suelo, etc.

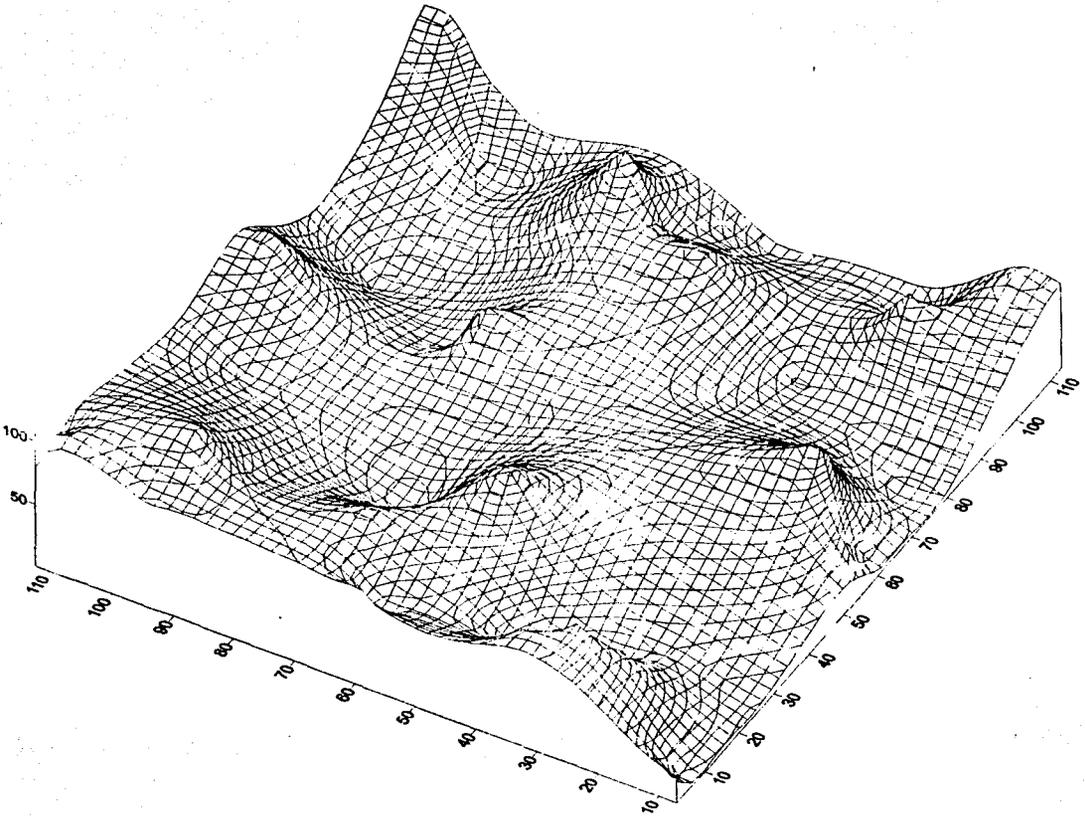


Figura 1.4. Representación gráfica de una cuenca

1.3. Curva masa y hietograma

Cuando obtenemos los datos de la cantidad de lluvia que cae en la superficie o parte de ella de una cuenca, es necesario interpretarlos, es decir, con los pluviogramas podemos después construir una gráfica de altura de precipitación acumulada en el tiempo que duró la lluvia; esta gráfica se le llama *curva masa de precipitación* (figura 1.5).

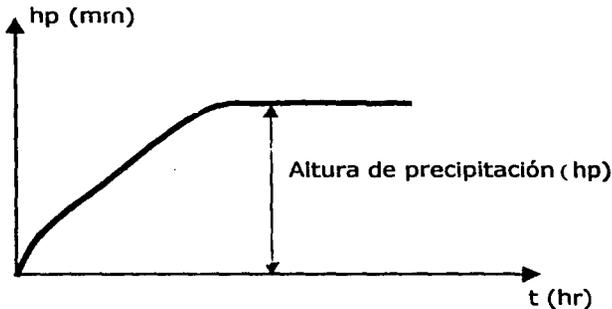


Figura 1.5. Diagrama de una curva masa

Esta gráfica indica la cantidad de lluvia que ha caído en ese punto de la cuenca en un intervalo de tiempo que casi siempre es para un día. Para hacer más comprensible esta representación, se pueden representar las variaciones de altura de lluvia en intervalos de tiempo determinados, es decir, en una cantidad n de horas cual es la altura de precipitación que se presentó, y así para el mismo intervalo de tiempo durante toda la tormenta. Se representan estos diagramas por medio de barras y se les llama *hietogramas* (figura 1.6) que pueden ser de alturas de precipitación o de intensidades. Son de intensidades cuando a la altura de precipitación de cada barra se divide entre el intervalo de tiempo que dura la misma.

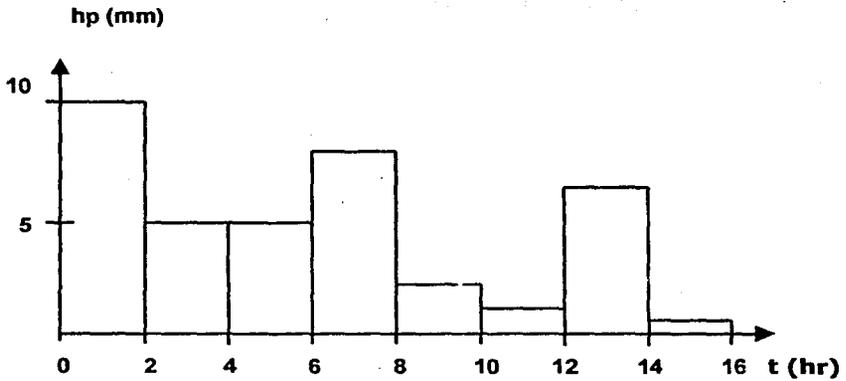


Figura 1.6.a. Diagrama de un hietograma para $\Delta t = 2$ hrs

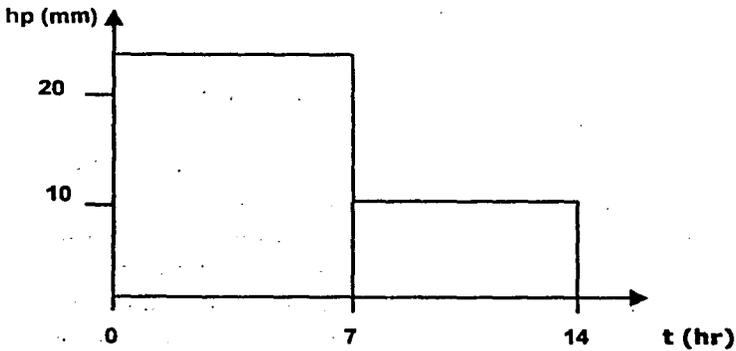


Figura 1.6.b. Diagrama de un hietograma para $\Delta t = 7$ hrs

1.3.1. Hietograma medio

Es la gráfica que representa la variación de la altura de precipitación media con respecto a un intervalo de tiempo. Para determinarlo es necesario conocer la altura de precipitación media y posteriormente con la gráfica de curva masa obtenemos la altura de precipitación máxima; con estas alturas obtenemos un factor de ajuste que resulta del cociente de la altura de precipitación media entre la altura de precipitación máxima. Posteriormente se construye el hietograma como la forma anterior y a las alturas de precipitación las afectamos con este factor de ajuste multiplicando a cada uno de los datos.

1.4. Hidrograma

Cuando se hacen los estudios hidrológicos en una determinada cuenca y es necesario determinar las relaciones lluvia - escurrimiento, uno de los principales es la medición del volumen de agua escurriendo en un determinado lugar producido por una determinada tormenta y la distribución en el tiempo de dicho volumen, es decir, el gasto que fluye por ese punto. Para facilitar dicha medición se toma un lugar específico en el cauce de la corriente principal. Posteriormente se relaciona la altura de precipitación que cayó en una cuenca con el gasto que lleva la corriente generado por esa precipitación. Además es interesante analizar el gasto que corre en ese punto durante lapsos de tiempo determinados, que pueden llegar a ser desde horas hasta años. Al representar gráficamente los resultados de gasto medido contra el tiempo determinado, obtenemos la gráfica llamada hidrograma (figura 1.7).

Todo el escurrimiento que se presenta en el cauce o en el punto desde donde se estén realizando las mediciones dentro de una cuenca se debe al flujo subterráneo y se le llama *escurrimiento base*, cuando se presentan las precipitaciones y cuando comienza a aumentar el gasto que escurre y circula dentro de la cuenca se le

denomina a este *escurrimiento directo* que contribuyó a aumentar el flujo, es decir, es el gasto excedente dentro de la cuenca debido a las lluvias.

Al analizar los hidrogramas se puede observar varios puntos de la gráfica que indican importantes partes dentro de ellos, esto se ve más claro aislando el hidrograma para un tiempo corto como puede ser el hidrograma de un día o de unas cuantas horas (figura 1.8). Si para ese lapso de tiempo se presento alguna tormenta, se observa en el hidrograma, el considerable ingreso del gasto en un momento, hasta alcanzar un punto de máxima altura o máximo gasto y después comienza a descender hasta llegar a valores de gastos como en un inicio antes de la tormenta. Estos puntos en la gráfica se les nombra de la siguiente manera:

- **Punto de levantamiento.** Es cuando inicia el escurrimiento provocado por la lluvia en exceso, es decir, el escurrimiento directo y se manifiesta en la zona de medición del cauce.
- **Gasto máximo o gasto pico.** Es el máximo gasto que se presenta debido a la tormenta que se presente en ese momento.
- **Punto de inflexión.** Es cuando el escurrimiento directo se considera como terminado y sólo se presenta el gasto que la corriente llevaba antes de la tormenta.
- **Final del escurrimiento directo.** Es cuando termina precisamente el escurrimiento directo o el ocasionado por las precipitaciones, después de este punto todo el escurrimiento que se presente es originado por el flujo subterráneo.

Durante el inicio del escurrimiento directo y el término de este transcurre tiempo el cual se le llama *tiempo base* y el tiempo que pasa desde el momento del inicio del escurrimiento directo hasta que se presenta el gasto máximo se le llama *tiempo*

pico. El *tiempo de concentración* es el tiempo que tarda una gota de agua en trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de ella. El *tiempo de retraso* es el que transcurre desde el centroide del hietograma de precipitación efectiva y el gasto máximo o pico.

El tiempo de concentración se puede determinar mediante la expresión de Kirpich, que es una relación de la pendiente general de la cuenca y su área:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

El tiempo pico se determina mediante una relación entre la *duración efectiva* o duración de la tormenta en exceso que genera escurrimiento directo y el tiempo de retraso.

$$t_p = 0.5 d + t_r$$

donde

d es la duración efectiva y se puede calcular como $2\sqrt{t_c}$
 t_r es el tiempo de retraso y se calcula como $0.6 t_c$

En un hidrograma se observan secciones de la gráfica que van desde el momento en que comienza el escurrimiento directo hasta el gasto pico y se le llama *rama ascendente*, después cuando el gasto pico se presenta y comienza a disminuir el escurrimiento directo hasta el final del mismo escurrimiento directo se le llama *rama descendente*.

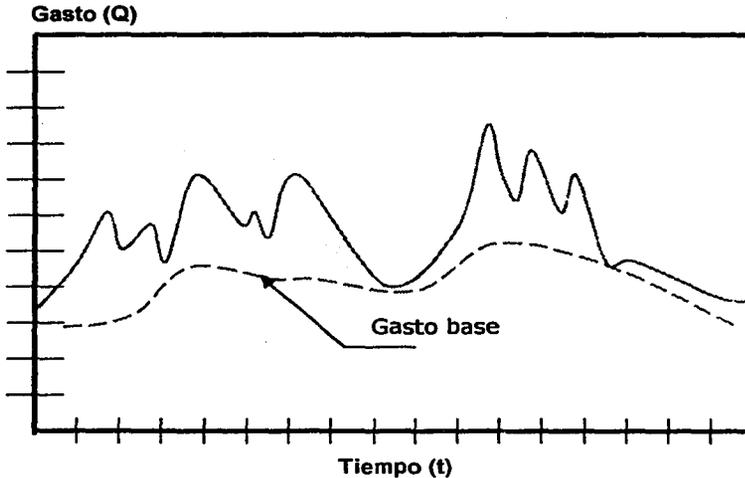
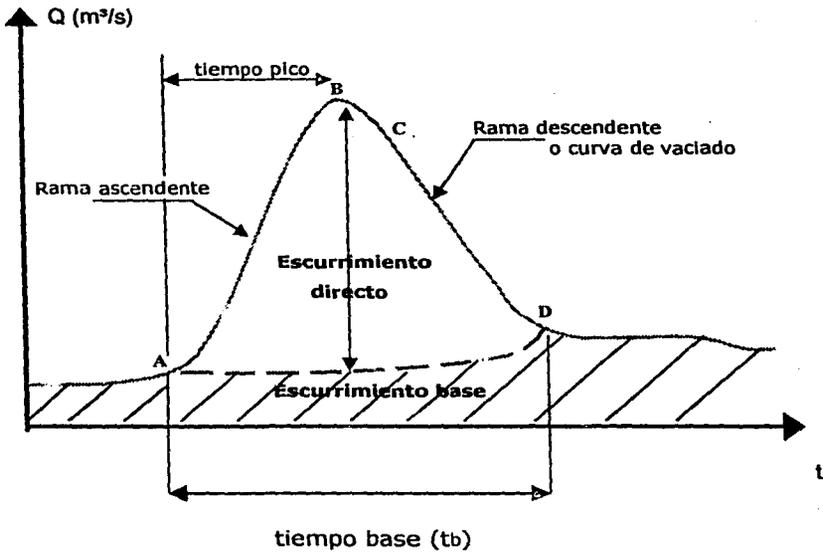


Figura 1.7. Diagrama de un hidrograma

Como se puede ver en el hidrograma, es fácil de reconocer los puntos descritos anteriormente, así mismo se puede entonces identificar el gasto que el cauce de la corriente principal llevaba antes de que se presentara la tormenta medida y a este gasto se le llama gasto base, y por consiguiente se puede separar este gasto con el gasto directo o gasto de tormenta. Pero para unir los puntos de levantamiento y de inflexión se usan diversos métodos que van desde unirlos simplemente con una recta hasta usar algunos teoremas matemáticos.



- A. Punto de levantamiento
- B. Gasto pico
- C. Punto de inflexión
- D. Final del escurrimiento directo

Figura 1.8. Diagrama de un hidrograma aislado

Para medir el gasto que escurre en el punto escogido en la corriente principal es necesario instalar estaciones de medición de gasto que se les llama *estaciones hidrométricas*. A la medición del gasto se le llama *aforo* y existen diversos métodos para hacerlos, entre los más importantes se encuentran:

- ❖ **Sección de control.** Es una sección en el cauce con ciertas características artificiales controladas, donde se presenta una relación única entre el gasto que fluye y el tirante o altura de lámina de agua presente con ese gasto. Para tener este control se ayuda de estructuras hidráulicas que proporcionan las condiciones antes mencionadas, como son los vertedores.
- ❖ **Relación sección-pendiente.** Se hacen estudios de la topografía del cauce de la corriente para luego hacer una representación de su perímetro mojado y área hidráulica así por medio del tirante medido y la rugosidad presente en la superficie del cauce se obtiene la velocidad con la fórmula de Manning y con la ecuación de continuidad, el gasto presente
- ❖ **Relación sección-velocidad.** Se mide por medio de instrumentos la velocidad en varios puntos del cauce a determinada altura de tirante y luego se obtiene la velocidad media, luego con la ecuación de continuidad se obtiene el gasto. Este método es el más usado en las estaciones hidrométricas.

1.5. Ingeniería hidrológica

La ingeniería hidrológica es la rama de la ingeniería que tiene la importante función de hacer los análisis hidrológicos en cuencas para posteriormente diseñar y operar obras que aprovechen y controlen el agua existente. Dentro de la primera parte, es decir, del análisis hidrológico de la cuenca, el ingeniero hidrológico determinara un evento, que generalmente será el más severo o extraordinario como las lluvias

generadas por ciclones tropicales, para diseñar posteriormente la obra proyectada, que puede ser desde una alcantarilla, un puente, un bordo, vertederos o hasta una presa. Estos estudios hidrológicos también sirven para decir si el agua circulante en esa cuenca es suficiente para ejecutar la obra prevista, para corregir el diseño de una obra ya existente y para saber si existirá agua en excedencia que pueda ser aprovechada.

Para llegar a un estudio hidrológico, la hidrología se apoya de varias disciplinas como son la meteorología, la estadística y probabilidad, química y biología, hidráulica, geografía. Se sabe que cualquier análisis de este tipo es bastante complicado de determinar y sobre todo si no se dispone de datos suficientes de lluvia, características del suelo y características geomorfológicas de la cuenca. El estudio hidrológico debe ser suficiente para determinar o por lo menos dar un pronóstico aceptable de fenómenos extremos como son en el caso de época de estiaje, las sequías, y en época de lluvias, las avenidas extraordinarias como las provocadas por la incidencia de un ciclón.

Como se puede ver la ingeniería hidrológica es una parte fundamental y básica para el desarrollo y bienestar de la sociedad, para iniciar con un proyecto de crecimiento urbano como la construcción de puentes, carreteras, sistemas de abastecimiento de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales; para la construcción de obras hidráulicas como presas, sistemas de riego, protección de cauces, entre otros proyectos más; es necesario un estudio hidrológico.

2. Nociones de meteorología y protección civil

2.1. Meteorología

La ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos y su influencia en la tierra se le conoce como meteorología; una definición más formal es:

"La meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera, comprende el estudio del tiempo y el clima y se ocupa del estudio físico, dinámico y químico de la atmósfera terrestre".

A los fenómenos que tienen su origen por la acción del agua se les nombra *fenómenos hidrometeorológicos* o *hidrometeoros*. El comportamiento de estos fenómenos que ocurren se llama *clima*. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba. Los estudios que realiza esta ciencia toman gran importancia cuando los efectos provocados por estos son motivo de posibles daños, cuando ponen en peligro la vida de los seres vivos afectando la vida social y económica del ser humano. Por esto se hacen predicciones del clima y se estiman los daños que pueden causar al pasar un ciclón tropical o al presentarse una lluvia o granizada en lugares de cultivo, por nombrar algún ejemplo. A estas predicciones se denominan *pronósticos del clima* y son de gran ayuda para prevenir posibles desastres y alertar a las comunidades para tomar las medidas pertinentes; cabe señalar que se trata solo de estudios hechos con métodos probabilísticos en donde la estadística y los datos que se

han recabado desde hace siglos hasta la fecha son los que se toman para dar un resultado y por lo tanto no siempre suceden tal y como se dice.

2.2. Atmósfera

La atmósfera actual está compuesta principalmente por nitrógeno (78.09%), oxígeno (20.95%) y argón (0.93%). El restante 0.03% se compone de dióxido de carbono (CO₂), cantidades diminutas de neón, helio, ozono e hidrógeno, también se han encontrado indicios de criptón, metano, xenón o otros gases raros. Otro integrante vital es el vapor de agua, que constituye un 4% de su volumen y un 3% de su peso. La atmósfera contiene además partículas sueltas de sal, polvo, la contaminación creada por el hombre y polvo volcánico que es lanzado hasta la estratosfera que no interviene en los procesos meteorológicos.

Dentro de la meteorología se estudia la circulación de la atmósfera y el flujo de calor, se sabe que la Tierra no genera calor en grandes cantidades como para mantener la vida, la mayor parte del calor necesario es recibido por la estrella más cercana que es el Sol. El Sol a través de la radiación solar emite calor que es recibido por la Tierra, a su vez la Tierra refleja parte de esta radiación hacia el espacio exterior por medio de las nubes que actúan como un gran espejo; de la radiación que llega a la superficie, en el ecuador se recibe mayor cantidad de esta que en los polos y esto se debe a la curvatura de la Tierra formando un ángulo de incidencia siendo mayor en los polos mientras que en el ecuador se reciben los rayos solares casi de manera perpendicular y por supuesto al ángulo de inclinación del eje de la Tierra que es de 23.5°; existe un balance entre la radiación recibida por la tierra y la radiación emitida hacia el exterior, pero al haber diferencias entre las zonas de diferente curvatura en la tierra como se dijo antes, se presenta un flujo permanente de calor desde el ecuador hacia los polos para tratar de equilibrar la descompensación. Esto se traduce en diferencia de temperaturas que provoca diferencias de presión y en consecuencia movimientos de la atmósfera como el viento. Toda la radiación solar recibida por la Tierra es devuelta al espacio: de otra manera la

temperatura de la superficie aumentaría indefinidamente. La Tierra entonces funciona como una gran máquina térmica donde el intercambio de calor es permanente, este flujo de energía es el motor de la circulación atmosférica que permite que exista además el ciclo hidrológico.

2.2.1. Nubes

Se ha calculado que aproximadamente el 0.001% del total de agua de la Tierra está en la atmósfera, en forma de vapor de agua. Esta cantidad varía según la temperatura del aire, ya que el aire caliente admite más vapor de agua. La *humedad absoluta* es la cantidad de vapor de agua existente en un volumen dado de aire y se expresa en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. La *humedad relativa* mide la cantidad de agua existente, expresada en tanto por ciento de la que el mismo volumen podría contener a la misma temperatura si estuviese saturado. Entonces el aire saturado tiene una humedad relativa del 100% y siempre estará a punto de condensarse al enfriarse el aire.

El vapor de agua procede de la evaporación de mares, lagos, ríos y del suelo húmedo; la mayoría de las plantas y animales también desprenden vapor de agua. La turbulencia aérea lo transporta hacia arriba, esta turbulencia es el resultado del calentamiento del suelo por la radiación solar. Al enfriarse el aire ascendente disminuye su capacidad de retener vapor y alcanza el punto de condensación. Este vapor se condensa en torno a partículas diminutas existentes en el aire, formando gotas de agua pequeñas (microscópicas), tan ligeras que se mantienen aún suspendidas en la atmósfera.

Las nubes se forman al unirse grandes masas de microgotas de agua y cristales de hielo. Se clasifican según su forma y altitud que alcanzan. En general se mencionan dos tipos: *los cúmulos* que tienen un desarrollo vertical que se forman cuando el aire asciende rápidamente y en forma vertical y *los estratos* que son tenues capas que se esparcen por el espacio, suelen

formarse cuando el aire asciende despacio y con una inclinación no muy considerable que llegue a la verticalidad.

Conforme las nubes alcanzan mayores alturas la temperatura disminuye constantemente y esto ocurre generalmente a los 10 kilómetros. Al subir el aire desprende calor debido a la condensación que puede poner el aire ascendente mucho más caliente que el que lo rodea, lo que crea una situación inestable que provoca al final la precipitación.

2.2.2. Presión y viento

La atmósfera tiene un peso que actúa sobre la superficie, la mitad de su peso esta a menos de 5,000 metros de altitud, así que al nivel del mar la presión atmosférica media, o sea, el peso del aire sobre cada centímetro cuadrado de superficie es de 1.05 kg/cm², es decir 1013 milibares. La presión de la atmósfera al igual que la densidad disminuye con la altitud.

Las variaciones de la presión se deben también a los cambios de temperatura que son originados por la radiación solar y el flujo de calor hacia el espacio exterior. El calentamiento por la radiación a nivel del suelo hace que el aire se dilate y se vuelve más ligero que el aire frío de más arriba. El aire caliente tiende a subir, dejando abajo una región de presión relativamente baja; el aire denso y frío tiende a descender, creando una presión atmosférica relativamente alta.

Los cambios de presión antes descritos originan una circulación del aire; en torno al ecuador la radiación de la superficie terrestre calienta las capas bajas de la atmósfera haciéndolas ascender que provoca un efecto de baja presión permanente de vientos escasos o nulos.

El aire caliente y liviano sube, después se enfría y se esparce hacia el norte y el sur formando las *corrientes convectivas*; en las latitudes de 30° norte y sur las corrientes convectivas descienden generando zonas de alta presión que se

les nombra *latitudes horse* donde los vientos son ligeros. A causa de estos espacios de aire seco y liviano que lleva a una estabilidad atmosférica en esas latitudes se forman en la corteza terrestre los desiertos. Los pocos vientos que salen de las latitudes horse cruzan la superficie de la Tierra, los que soplan hacia el ecuador se les llama *vientos alisios* y los que van hacia los polos se les llama *vientos del oeste*. En los polos son zonas de alta presión atmosférica debido al descenso del aire frío y denso de ahí salen vientos fríos llamados *vientos polares del este* que luego chocan con los vientos del oeste.

Se encuentra una *zona de transición*, de tiempo variable localizada entre los 30° y 65° de latitud norte y sur donde se generan profundas depresiones cuando interactúan los aires polares y el subtropical.

2.3. Precipitación

La precipitación como ya se dijo antes ocurre en el momento en que en la atmósfera las gotas de agua son lo suficientemente pesadas para que la gravedad actúe sobre ellas y las haga caer sobre la corteza terrestre. Cuando se habla de precipitación se refiere a todas las formas de condensación de agua como es el rocío, niebla, neblina, aguanieve, escarcha, lluvia, granizo y nieve. En las zonas tropicales las nubes se componen de gotas de agua microscópicas que se unen y forman grandes gotas de agua, en las zonas templadas, la temperatura de las nubes esta bajo cero, las gotas de agua se congelan al contacto con los cristales de hielo de las nubes que al unirse adquieren peso y caen. Si el aire bajo está a más de 4 °C, los cristales se funden y se convierten en gotas de lluvia; si está más frío, se funden algunos copos de nieve y resulta aguanieve, o no se funden ninguno y llegan al suelo en forma de nieve.

La precipitación se produce de tres modos principales, la lluvia convencional se origina con un calentamiento intenso del aire bajo, que origina corrientes ascendentes intensas y húmedas. Al enfriarse arriba, se vienen simplemente

abajo en forma de corrientes convectivas, 9por esto a estas lluvias se les llama *lluvia conventiva*.

La *lluvia orográfica* es la que se origina cuando los vientos oceánicos húmedos se dirigen tierra adentro que por lo general se encuentran a su paso de frente a las cordilleras. Al elevarse el aire, se enfría y la precipitación se descarga en las laderas.

La *lluvia ciclónica* se produce al elevarse aire caliente sobre el aire frío en los frentes de baja presión que se forman en las latitudes medias

2.4. Factores perturbadores y el ciclón tropical

El intercambio térmico es incesante entre los trópicos y los polos, pero los vientos no soplan directamente de norte a sur debido a *factores perturbadores*. El primero de ellos es la fuerza o *efecto de Coriolis*, causado por la rotación terrestre, que desvía los vientos hacia la derecha de su dirección normal en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Debido a la inclinación del eje de la Tierra (23.5°) la trayectoria de los vientos y la posición de los sistemas dominantes de alta y baja presión sufren cambios estacionales.

Las *fechas astronómicas* no coinciden con las estaciones reales, porque la superficie terrestre tarda en calentarse y en enfriarse. Pero el suelo se calienta y se enfría aún más rápido que el agua. El rápido calentamiento de las costas durante el día crea una zona de baja presión relativa que atrae aire fresco del mar; de noche, el suelo se enfría en seguida y fluye de ella aire frío hacia el mar, relativamente más caliente. Ese calentamiento diferencial provoca el desarrollo de grandes masas de aire sobre los continentes y mares. Existen

cuatro grandes masas de aire, el *aire polar marítimo* es caliente y húmedo; el *aire polar continental* es frío y seco sobre todo en invierno pero caliente en verano; el *aire tropical marítimo* que es caliente y húmedo; y el *aire tropical continental* es muy caliente y seco, que es el que predomina en los desiertos.

El movimiento de estas masas y su interacción entre ellas produce los vientos dominantes antes mencionados y tiene importantes efectos meteorológicos en las zonas de transición.

En algunos meses de cada año se presentan ciertas condiciones en donde el flujo de la atmósfera en el ecuador hacia los polos presenta una diferencia de temperatura mayor, el agua de mar también se calienta más y esto es propicio para la formación de una zona de baja presión, los vientos alisios aumentan su intensidad y chocan de frente lo que ocasiona un giro alrededor de un punto de convergencia. Esto generalmente ocurre entre los meses de mayo y noviembre, en las latitudes 5 y 15 grados del hemisferio septentrional, es decir en las zonas de transición. Con las condiciones antes mencionadas y las altas temperaturas del agua marina que alcanzan los 26 grados centígrados en la superficie además de los efectos de la rotación terrestre que produce la fuerza de Coriolis nacen los ciclones tropicales (figura 2.1). Existen varias definiciones de estos pero la más usual es la siguiente:

"Un ciclón tropical es una perturbación atmosférica de área casi circular con presiones que disminuyen hacia su centro".

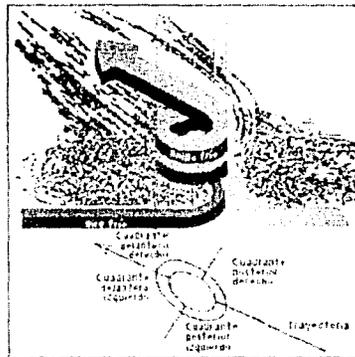


Figura 2.1. Generación de un ciclón

La energía que lleva este fenómeno es mayor conforme se incrementa la diferencia, entre la presión en la atmósfera (alrededor de 1013 milibares) y la del centro del ciclón. El huracán es la etapa más crítica de un ciclón, pero antes de llegar a esta etapa se le llama de varias formas según la velocidad de los vientos que genera y la presión existente en el centro (tabla 2.1)

Características	Perturbación tropical	Depresión tropical	Tormenta tropical	Huracán
Velocidad del viento (km/h)	< 50	50 a 63	63 a 118	> 118
Presión central (mb)	1008 a 1010	1004 a 1008	985 a 1004	< 985

Tabla 2.1. Clasificación de un ciclón según la velocidad del viento y su presión central.

Ya que se ha formado el huracán se establece una nueva escala que también toma en cuenta la velocidad del viento y la presión central; esta escala se le nombra Escala de Huracanes de Saffir/Simpson en honor de los investigadores que la crearon (tabla 2.2).

Categoría	Vientos	
	Km/h	mi/h
1	119-153	74-95
2	154-177	96-110
3	178-210	110-130
4	211-249	131-155
5	>250	>155

Tabla 2.2. Escala de huracanes de Saffir/Simpson

Nº	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
1.	Debe existir una eficiente fuente de calor para ocasionar temperaturas del mar mayores a 26 C. Este calor debe tener una influencia de 70 metros por encima de la superficie para ocasionar una considerable convección.
2.	Es necesaria la preexistencia de un fenómeno de perturbación en los niveles bajos de la atmósfera; esto puede ser una onda tropical o una perturbación organizada.
3.	El llamado parámetro de Coriolis debe exceder un valor crítico el cual, debe ser mayor a 0.00001 entre segundo, esta magnitud no se da más allá de los 5º de latitud.
4.	La diferencia entre las velocidades de viento entre los niveles bajos y altos de la atmósfera debe ser pequeña.
5.	La divergencia del viento debe ser considerable, esto ocasiona un descenso de la presión en superficie.
6.	El flujo superior en la atmósfera debe estar interconectado con una vaguada en de latitudes medias.
7.	La humedad en niveles medios de la atmósfera debe ser grande, esto es mayor a un 60%.

Tabla 2.3. Condiciones favorables para la formación de un ciclón

"Cuando el ciclón tropical llega a la etapa de tormenta tropical se le asigna un nombre predeterminado en orden alfabético que se establece anualmente por parte del Comité de Huracanes de la Asociación Regional IV, de la Organización Meteorológica Mundial".

Los huracanes son formaciones circulares como remolinos que tienen una región central llamada *ojo del huracán* donde la presión es la más baja, el aire húmedo gira y se levanta rápidamente, formando una espiral de nubes. La gran cantidad de energía desprendida por la rápida condensación del aire ascendente es la que mantiene el vertiginoso giro de la espiral.

Los huracanes generalmente se desplazan hacia el oeste. Cuando tocan tierra pierden su fuente de humedad que es el mar y por lo tanto su fuente de energía, entonces se van extinguiendo al llenarse de aire el centro de baja presión.

Los ciclones que inciden en las costas del Golfo de México y en especial al estado de Veracruz nacen en unas zonas llamadas *regiones matrices* o de nacimiento de ciclones y son las zonas Segunda que se ubica en la Sonda de Campeche, en el sur del Golfo de México, incidiendo generalmente desde junio hasta noviembre y la Cuarta siendo su ubicación de 8 a 12 grados de latitud septentrional en la región tropical del Atlántico y su incidencia es en agosto.

A su vez estos ciclones pertenecen a la *zona ciclogénica I* que se le denomina Atlántico del Norte que se desarrolla en El Caribe y el Golfo de México.

Existen varios métodos para pronosticar la aparición y trayectoria de un ciclón tropical, todos estos métodos numéricos se basan en datos históricos, pero debido a la gran cantidad de variables físicas y la complejidad del fenómeno hasta el momento no existe un modelo que con exactitud pronostique la trayectoria de un ciclón. En México entre mayo y noviembre en promedio

surgen 25 ciclones con mayor incidencia en el Océano Pacífico, solamente 4 se acercan a menos de 100 kilómetros del territorio nacional. Al incidir un ciclón tropical en las costas genera principalmente lluvia ciclónica, marea de tormenta, oleaje y vientos huracanados. Estas acciones causadas por el ciclón incidente en la costa producen efectos que debido a la urbanización estos son motivo de daños y son aún mas considerables ya que el escurrimiento generado por la lluvia ciclónica no encuentra en ocasiones salida y se presenta el anegamiento, además el aumento del nivel del mar que inunda las playas que es a lo que se le denomina marea de tormenta; el efecto destructivo del viento y el embate del oleaje, incrementan los posibles riesgos en zonas turísticas, puertos y demás infraestructura costera.

La lluvia ciclónica se genera por la gran cantidad de humedad que el ciclón lleva, esto se puede notar fácilmente en las imágenes de radares y satélites donde se aprecia la nubosidad que en forma de remolino arrastra el ciclón, al encontrarse con una barrera natural como una cordillera, entonces, sobreviene la lluvia de gran intensidad; al encontrarse el escurrimiento un río o arroyo en ocasiones este no tiene capacidad de llevar en el cauce el gasto extraordinario lo que produce desbordamientos y posteriormente zonas inundadas. Pero las consecuencias no solamente son negativas, ya que en muchas zonas de cultivo de temporal, esto significa que sus tierras contarán con una generosa dotación de agua para poder crecer, además de los nutrientes que las corrientes arrastran en su camino y van depositando en los terrenos cultivables.

Cuando existen obras de almacenamiento el gasto extraordinario se puede aprovechar para el beneficio de las comunidades. Pero lo más común es que los efectos mayores son los negativos por falta de infraestructura para el control de avenidas, obras de aprovechamiento, bordos y represas para evitar desbordamientos, rompeolas y escolleras en el caso de los puertos; la falta de planeación en la urbanización y las obras de drenaje, por la falta de programas de protección civil y educación sobre estos temas a la población. Las acciones posteriores ocasionadas por un ciclón son diversos. Este estudio se enfocará en el análisis de la lluvia ciclónica y las inundaciones que provoca.

2.5. Inundaciones

Las inundaciones se producen cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca supera la capacidad del cauce, es decir cuando las lluvias torrenciales producidas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos incrementan el gasto formando una creciente tal que el nivel del agua supera en alguna sección al bordo libre del cauce y por consiguiente provoca su desbordamiento. También se generan cuando una creciente no puede ser controlada por la insuficiencia o falta de obras para almacenamiento y control de avenidas. Las inundaciones son frecuentes en toda la República Mexicana, aún en zonas desérticas en donde las lluvias no son frecuentes. En verano entre mayo y octubre el país esta sujeto a la acción de los ciclones tropicales, en invierno es afectado por tormentas de origen extratropical; también los frentes polares que viajan hacia el sur causan fuertes lluvias sobre todo en el noreste. A estos fenómenos se le suman la orografía característica del país y las lluvias de origen convectivo que producen tormentas muy intensas pero de poca duración y extensión.

Las inundaciones de acuerdo a su origen pueden ser pluviales y fluviales y costeras. Las inundaciones pluviales y fluviales se dan como consecuencia de las precipitaciones que se presentan en forma de lluvia, nieve o granizo, este proceso se origina por la existencia de ciclones tropicales, vientos normales, masas polares y procesos convectivos. Las inundaciones costeras son originadas por las mareas de tormenta que afectan particularmente el Golfo de México; a este fenómeno se le suma el oleaje que causan daños en la infraestructura portuaria, urbana y turística (figura 2.2).



Figura 2.2. Imagen de una inundación ocurrida en Veracruz

En la República Mexicana las inundaciones son muy frecuentes y son derivadas por el desbordamiento de ríos prácticamente cada año. En las zonas desérticas las inundaciones son menos frecuentes pero por la misma razón se suelen olvidar y cuando ocurren causan problemas mayores. Las inundaciones que se generan en cuencas que han sido urbanizadas son cada vez más considerables porque el terreno natural a sido modificado. Cuando no existen obras de almacenamiento y control las inundaciones son aún más severas pero afortunadamente son poco frecuentes.

2.6. Protección civil

En cualquier desastre ocasionado por un fenómeno natural o artificial, las comunidades se organizan para actuar y tomar las medidas pertinentes para evacuar, albergar y auxiliar en general a la población afectada, para esto se llevan a cabo programas de protección civil.

Los fenómenos que afectan a las comunidades pueden ser de origen natural o artificiales, estos últimos provocados por el ser humano. Dentro de los fenómenos naturales tenemos a los riesgos hidrometeorológicos y los geológicos. Los fenómenos hidrometeorológicos son las inundaciones, las sequías, los ciclones tropicales, las nevadas y granizadas, entre otros, dentro de los riesgos geológicos encontramos los terremotos, los deslizamientos de taludes o laderas y las erupciones volcánicas. Los riesgos artificiales pueden ser de origen químico, sanitarios y socio-organizativos.

En este estudio toma gran importancia el apartado de los riesgos hidrometeorológicos y en específico los ciclones tropicales y las inundaciones que por lo general son los fenómenos que afectan con mayor frecuencia a nuestro país.

Debido a que en México históricamente a sido afectado fuertemente por estos fenómenos naturales y seguirá siendo afectado en el futuro por estos fenómenos, los gobiernos federal, estatal y local han puesto en marcha diversas medidas para proteger a la población, su infraestructura y a la misma naturaleza. En el país existe el Programa Nacional de Protección Civil coordinado por la Secretaría de Gobernación, este programa tiene por objetivo el alertar a la población en caso de que un posible fenómeno afecte a una comunidad, proteger el patrimonio, prevenir riesgos provocados por el mismo ser humano, orientar e informar a la población con educación en protección civil; en caso de que ocurra el fenómeno, este programa pone en marcha acciones para evacuar, controlar, mitigar y solucionar los problemas causados por ese fenómeno. Los recursos económicos para poder llevar a cabo las medidas pertinentes como son las obras de rescate y reconstrucción de viviendas e infraestructura, distribución de víveres y medicamentos, coordinación y movilización de personal especializado, etc, es tomado del Fondo Nacional de Desastres que el gobierno federal cuenta para el caso de que un evento extraordinario afecte a una población. Para prevenir los riesgos, se dispone de sistemas de alertamiento donde se estudian y analizan datos arrojados por los instrumentos de medición de diversos parámetros; para llevar

esta tarea se creó el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) que es una institución de investigación en donde se llevan a cabo estudios a los principales puntos de posible riesgo, como son los volcanes en caso de erupción, las placas tectónicas en el caso de los terremotos, los radares y pronósticos de clima para las inundaciones y lluvias. La misión principal del CENAPRED es promover la aplicación de las tecnologías para la prevención y mitigación de desastres; impartir capacitación profesional y técnica sobre la materia, y difundir medidas de preparación y autoprotección entre la sociedad mexicana expuesta a la contingencia de un desastre. Es decir es un centro que realiza actividades de investigación, capacitación y difusión acerca de fenómenos naturales y generados por el hombre que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

En el caso de los huracanes, la tecnología ha contribuido para contar con sistemas de pronóstico y seguimiento de los ciclones tropicales, con el uso de radares y satélites artificiales meteorológicos se puede con una mayor aproximación dar un pronóstico de la formación de un huracán y seguir la trayectoria de este cuando se formó.

El Servicio Meteorológico Nacional que es parte de la Comisión Nacional del Agua lleva a cabo tareas importantes de señalar para mitigar las catástrofes que ocasionan los huracanes. Estos trabajos son:

Mantenimiento, conservación y establecimiento de instalaciones de sistemas de observación usando telecomunicaciones meteorológicas.

Investigación de nuevas tecnologías para mejorar las predicciones y los avisos de huracanes usando los desarrollos de la tecnología mediante cooperación internacional.

Instrucción y capacitación para la formación de personal en transferencia de tecnología y orientar a la población civil.

Comunicación social, empleando los medios de difusión para la divulgación de la información meteorológica.

Para la vigilancia y difusión de datos acerca de ciclones tropicales se toman estos de fotografías a nivel, de superficie y de altura por medio de satélites; de 77 observatorios nacionales, 11 estaciones de radiosondeo del viento y una estación de imágenes de satélite meteorológico. Se analizan los datos en el Servicio Meteorológico Nacional, el CENAPRED y en coordinación con otros centros de investigación como son los centros regionales de huracanes de Miami, Florida y San Francisco, California.

Este programa de difusión de imágenes de satélites comienza en mayo y concluye en noviembre de cada año, las imágenes son disponibles durante las 24 horas del día y se renuevan cada 30 minutos.

A causa del huracán Pauline que provocó daños en octubre de 1997 en Acapulco, Guerrero; el CENAPRED diseñó un sistema de alertamiento contra escurrimientos importantes a partir de lluvias ciclónicas. Consiste en una red telemétrica de quince pluviómetros, distribuida en la cuenca de la bahía de Acapulco para seguir la evolución de las lluvias para luego estimar la cantidad de agua que fluya por los cauces más importantes. En caso de exceder cierto nivel se activa una señal de alarma para avisar con anticipación de la ocurrencia de un evento a las autoridades de protección civil de la localidad. Este sistema consta de tres niveles. El primer nivel identifica huracanes mediante satélites y recepción de boletines del Servicio Meteorológico Nacional. El segundo nivel actúa cuando el ciclón tropical está a una distancia de 400 kilómetros del puerto y los avisos a la población se intensifican a través de los medio de comunicación masivos. El tercer nivel se basa en la información de las estaciones pluviométricas de la red telemétrica y los escurrimientos generados por las lluvias en cada subcuenca, con esta

información se cuenta con 1 o 2 horas para tomar las medidas pertinentes de prevención que pueden ser por lo general de evacuación. Este mismo sistema se ha implementado en Chiapas, Monterrey y Tijuana.

Otro sistema de alertamiento es el que el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) puso en marcha en 1991 y se le conoce con el nombre sistema *EPPrePMex*. Sus objetivos son la Estimación y Pronóstico de Precipitación Pluvial en México, de ahí su nombre. En un principio estaba enfocado al análisis de ciclones tropicales utilizando las imágenes de satélites geoestacionarios, puede estimar precipitación para distintos sistemas meteorológicos (ciclones, tormentas aisladas, etc.) con imágenes de satélite y de radar. El pronóstico está enfocado a los ciclones, aunque puede hacerse extensivo a otros sistemas meteorológicos.

Cuando las lluvias ciclónicas han provocado inundaciones y por lo tanto afectaciones en las comunidades, se toman diversas medidas para proteger a la población y su patrimonio, el programa mas destacado es el plan DN-III-E implementado por la Secretaria de la Defensa Nacional en coordinación con el Sistema Nacional de Protección Civil. Además al tenerse conocimiento de un fenómeno hidrometeorológico en formación, se transmite la alerta a los Comandantes de Región y Zona Militar que podrían verse afectados, los que proceden a coordinar la aplicación del Plan DN-III-E, con el resto de los integrantes del Sistema de Protección Civil, para hacer frente a la emergencia. Este programa se pone en marcha cuando cualquier fenómeno tanto natural como artificial afectó o está afectando a la población de cualquier parte del país.

Los objetivos de este plan son proteger a las personas, sus bienes y preservar el entorno ecológico como objetivo fundamental de las actividades de Protección Civil; crear una cultura de Protección Civil en el personal militar para prevenir, evitar y minimizar los efectos destructivos que causan diversos fenómenos en la sociedad; profesionalizar las actividades de Protección Civil en el Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos para optimizar el uso de los recursos

humanos y materiales empleados en la atención de emergencias ocasionadas por desastres naturales o provocados por el hombre y la actuación del Ejército y Fuerza Aérea en las actividades de Protección Civil para el empleo oportuno en tiempo y espacio de personal militar en futuras operaciones de auxilio a la población.

Se desarrollan actividades en dos vertientes, una operativa y otra educativa de la manera siguiente: En el aspecto operativo, se creó una sección denominada "Protección Civil" integrada al Estado Mayor de la Secretaría de la Defensa Nacional, con el fin de organizar, planear, coordinar y supervisar todas las actividades relacionadas con el Sistema Nacional de Protección Civil y el Plan DN-III-E, así como las actividades tendientes a la conservación del medio ambiente, protección y recuperación de los recursos naturales. En el aspecto educativo, se profesionaliza los cuadros de mando de todos los niveles que permite obtener los conocimientos y adquirir habilidades para determinar el origen, desarrollo de los fenómenos naturales y provocados por el hombre, desarrollar planes de prevención, análisis de riesgo, evaluación de daños; así como, en coordinación con los tres órdenes de gobierno, llevar a cabo la organización y control de la población en las zonas afectadas.

Con la información que se logra mediante las tareas anteriormente descritas, se informa al presidente del país, quien dispone los mecanismos de coordinación con las dependencias que tendrán mayor participación en las actividades de auxilio a la Población Civil, normalmente la Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal de Electricidad, Coordinador del Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaría de Salud y organismos de su sector, Secretaría de Desarrollo Social (básicamente DICONSA), Secretaría de Comunicaciones y Transportes y Secretaría de Marina. La Secretaría de la Defensa Nacional está en capacidad de operar albergues para proporcionar alimentación, alojamiento, atención médica, pláticas sobre higiene, orientación y entretenimiento a las personas que se alojan en los albergues, así como operar equipos de búsqueda, rescate y evacuación de personas en peligro o aisladas hacia los lugares adecuados; también se integran equipos para la seguridad y vigilancia de bienes y propiedades; proporcionar medios de transporte a efecto de

establecer puentes aéreos, principalmente desde la Ciudad de México hacia aeropuertos del área afectada, donde se establecen centros de acopio desde los cuales, mediante helicópteros y si la situación lo permite y requiere, convoyes terrestres, convoyes anfibios o porteadores que transporten la ayuda necesaria hacia los puntos de distribución que se establecen para apoyar al área afectada con: agua, víveres, medicamentos, equipo sanitario, equipo de dormitorio, tiendas de campaña y en ocasiones materiales de construcción para la población.

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan durante la ocurrencia de un desastre son los siguientes: Localización y delimitación exacta de la o las áreas dañadas y prioridades; la evaluación de daños y prioridades; presencia inmediata, oportuna y eficiente de las fuerzas de auxilio; concentración de recursos humanos y materiales para sostener la vida de las personas y la concentración, análisis y difusión de la información.

Con la experiencia de la ocurrencia de una inundación, es indispensable que se tomen medidas posteriores de protección que pueden ser estructurales y no estructurales.

1. Las medidas estructurales están constituidas por obras de infraestructura hidráulica destinadas al control de inundaciones y se clasifican en:

- **Obras de regulación.** Como las presas que permiten almacenar temporalmente una parte de las crecientes para después descargarlas en forma controlada, también se llevan a cabo obras de mejoramiento de cuencas como reforestación, terraceo, pequeñas presas de retención de azolves.
- **Obras de rectificación.** Que tienen la función de facilitar el transporte rápido del agua al cauce, dragando los ríos para conservar su altura original y disminuir las posibilidades de que ocurra un desbordamiento. Es decir son

la rectificación de cauces y el incremento de la pendiente mediante el corte de meandros.

- **Obras de protección.** Que son por lo general bordos longitudinales que se establecen a lo largo de una o ambas márgenes del río y su función es mantener el agua dentro del cauce mismo; también están los bordos perimetrales que tienen la función de evitar que las inundaciones alcancen poblaciones o zonas de importancia económica.

2. Las medidas no estructurales son medidas de Protección Civil que tienen por objetivo el disminuir los daños causados por las inundaciones y pueden ser de carácter permanente o aplicables sólo a la presencia de un fenómeno hidrometeorológico importante.

- ✓ **Medidas permanentes.** Están constituidas por la reglamentación del uso de suelo, zonificación de áreas inundables. El propósito es evitar que bienes de gran valor económico y social se ubiquen en zonas sujetas a riesgos de inundación.
- ✓ **Medidas de operación.** Estas se apoyan en modelos de pronóstico en sus diferentes fases como son el pronóstico de la ocurrencia de lluvia, comienzo del escurrimiento superficial, tránsito de este escurrimiento por los cauces y por las obras de infraestructura existentes. Estas medidas son la operación de infraestructura hidráulica, planes de protección civil, difusión de boletines de alerta y la evacuación de personas y bienes afectables.

3. Características de la cuenca

3.1. Localización, superficie y área de influencia

Antes de adentrarse al apartado de este capítulo, cabe señalar que la República Mexicana se encuentra dividida en diversas zonas o regiones hidrológicas; estas regiones fueron determinadas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos que ahora se encarga de estos asuntos la Comisión Nacional del Agua (CNA) y a partir de 1997 se crearon 13 Gerencias Regionales delimitadas con criterios hidrológicos.

Para realizar un análisis más preciso en torno al manejo, uso y preservación del agua, cada región se dividió en subregiones quedando el país conformado por 61 de ellas (figura 3.1).

La cuenca del Río Tuxpan se encuentra dentro de la región X denominada Golfo Centro (figura 3.2). La región X comprende una extensión de 106,000 km² que representan el 5% del territorio Nacional. La constituyen parte de los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz. Cubre gran parte de la llanura costera del Golfo de México, desde los flancos de la Sierra Madre Oriental hasta la costa y desde la parte baja de la Laguna de Tamiahua, hasta la Sierra Madre del Sur.

La región X es de las más importantes a nivel nacional, con un escurrimiento anual de 105,000 millones de m³ (25% del volumen nacional). Se tienen 12 cuencas

principales que descargan al Golfo de México integradas en 3 regiones hidrológicas:

1. **Región Hidrológica 27.** Comprende las cuencas de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolútlia, Nautlá y Misantla.
2. **Región Hidrológica 28a.** Comprende los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa.
3. **Región Hidrológica 28b.** La más importante de la Región y segunda en el país por su volumen de escurrimiento, abarca las cuencas de los ríos Blanco y Papaloapan (donde se encuentran las presas Miguel Alemán y Miguel de la Madrid).
4. **Región Hidrológica 29.** Se conforma con los ríos Coatzacoalcos y Tonalá.

Como se puede apreciar la cuenca del río Tuxpan se encuentra dentro de la región X.1 Veracruz Norte perteneciente a su vez a la región X Golfo Centro y en específico en la región hidrológica número 27 (figura 3.3). Esta cuenca se le denomina Cuenca Río Tuxpan 27D está limitada por la región 26 al norte y al oeste y sur por las regiones 18 y 28 respectivamente. Su territorio se encuentra en el estado de Veracruz, pero como se podrá ver mas adelante también tiene territorio en los estados de Puebla e Hidalgo que es donde nace en la Sierra Madre Oriental (figura 3.4).



Figura 3.1. Regiones hidrológicas

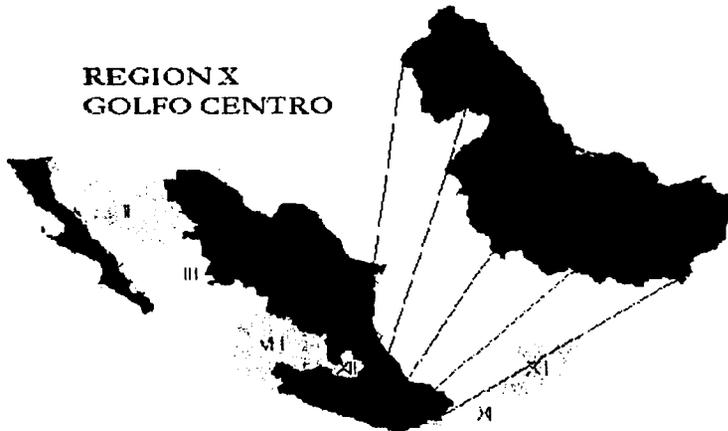


Figura 3.2. Región X. Golfo de México Centro



Figura 3.3. Región hidrológica No. 27 "Veracruz Norte"

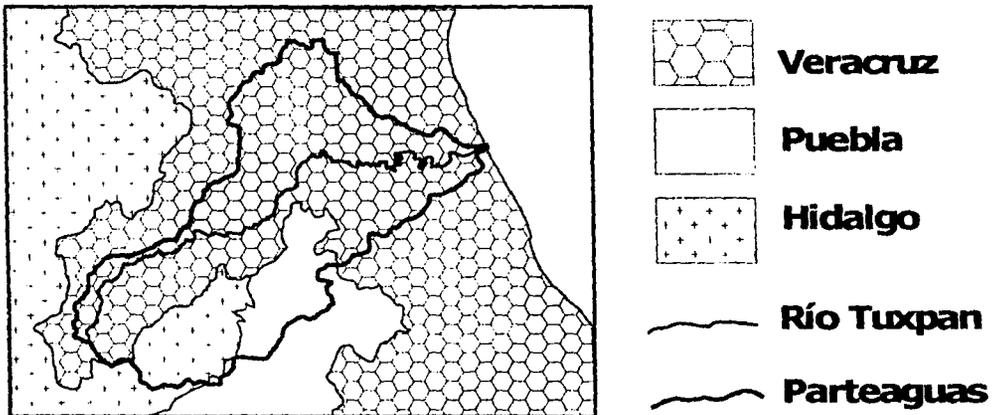


Figura 3.4. Localización de la Cuenca del Río Tuxpan

La hidrografía de la región norte de Veracruz está integrada por ríos, lagunas, esteros y corrientes menores. Entre los primeros se encuentran los ríos *Tuxpan*, *Cazones*, *Tecolulla*, *Nautla*, *Misantla* y *Colipa*; las lagunas más importantes son: *Tamiahua*, *Laguna Chica*, *Laguna Grande*, *San Agustín* y, por último las corrientes pequeñas que forman grupos de arroyos paralelos entre un río y otro, muchas de las que alimentan las lagunas o esteros mencionados.

La cuenca en la que se enfoca este análisis es la del río *Tuxpan* perteneciente a esta región No. 27 y se le denomina como la cuenca *Tuxpan-Nautla* con clave RH27D "Río *Tuxpan*".

Las coordenadas geográficas extremas de la cuenca del Río *Tuxpan* son:

Norte: 21° 15' 38.10" N, 97° 51' 55.38" W

Sur: 20° 18' 20.27" N, 98° 16' 9.23" W

Este: 20° 58' 30.81" N, 97° 19' 15.29" W

Oeste: 20° 29' 42.16" N, 98° 31' 39.52" W

Estas coordenadas fueron determinadas según trazando el parteaguas en una carta topográfica a escala 1:250,000 del INEGI.

La cuenca del río *Tuxpan* tiene territorio en los estados de Veracruz, Puebla e Hidalgo. Siendo su superficie total de **5,623.50 km²** de los cuales 4,075.48 km² pertenecen al estado de Veracruz, 874.37 km² al estado de Puebla y 673.65 km² al estado de Hidalgo.

El aprovechamiento de los recursos hidrológicos de esta región se realiza casi en su totalidad en los estados de Puebla y Veracruz, siendo mínimo en el de Hidalgo, ya que afecta una superficie muy pequeña de este (figura 3.5). Además, la topografía abrupta de la Sierra Madre Oriental, que en su extremo sureste recibe los nombres de Sierra de Hidalgo, Sierra de Puebla y otras denominaciones locales, hace que los escurrimientos que se llegan a constituir drenen hacia el Golfo de México en el estado de Veracruz. La región hidrológica Tuxpan-Nautla en el estado de Veracruz ocupa la porción noreste del territorio estatal, en específico la cuenca del río Tuxpan desemboca en el Golfo de México y tiene su origen fuera de la entidad.

Superficie de la cuenca correspondiente a cada estado (km²)

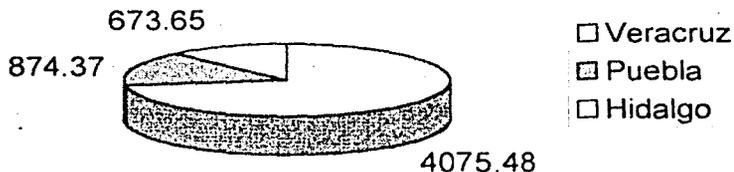


Figura 3.5. Distribución de la cuenca del río Tuxpan en cada estado

En una carta topográfica a escala 1:250,000 del INEGI se determinó la división territorial de los municipios de cada estado que se encuentra dentro de la cuenca los se representan en la siguiente (tabla 3.1).

Estado	Municipio	% territorio dentro de la cuenca	Estado	Municipio	% territorio dentro de la cuenca
Veracruz	Ixhuatlán de Madero	100	Puebla	Francisco Z. Mena	100
	Temapache	100		Pantepec	100
	Tepetzintla	100		Tlaxco	100
	Tlachichilco	100		Jalpan	30
	Zacualpan	100		Tlacuiloatepec	30
	Texcatepec	70		Venustiano Carranza	30
	Benito Juárez	50			
	Cerro Azul	50	Hidalgo	Huehuetla	100
	Chicontepec	50		San Bartolo Tutotepec	100
	Huayacocotla	50		Tenango de Doria	60
	Ilamatlán	50		Agua Blanca de Iturbide	30
	Castillo de Teayo	50			
	Zontecomatlán	50			
	Tihuatlán	30			
	Tuxpam	30			

Tabla 3.1. Municipios pertenecientes a la cuenca del río Tuxpan

3.2. Características físicas y biológicas

3.2.1. Hidrografía

El río Tuxpan se origina en el estado de Hidalgo a 8 kilómetros al oeste de Tenango de Doria con la denominación de río Pantepec con una elevación de 2,750 m.s.n.m., en el parteaguas con la cuenca del río Metztlán. Sus aportes más importantes los recibe de los ríos Blanco y Pahuatlán, que afluyen a la corriente principal por la margen derecha a 300 y 200 m.s.n.m. respectivamente. Aguas abajo y por la margen izquierda concurren los arroyos Beltrán y Rancho Nuevo cuyo principal afluente es el arroyo Grande. Estas corrientes afluyen a la corriente principal entre los 100 y los 80 m.s.n.m. aproximadamente, en la zona donde se inicia la planicie costera.

También por la margen izquierda a menos de 50 m de altitud confluye el río Vinazco, principal afluente del Pantepec. El río Pantepec nace en el estado de Veracruz a 550 m.s.n.m., con la aportación por la margen izquierda del río Toluca; por la margen derecha concurre el río Chiflón sobre el que se construyó la presa La Mesilla a 200 m.s.n.m. Además de estos afluentes, desembocan en el río Vinazco por la margen izquierda los arroyos El Chote y Grande, entre los 50 y 150 m.s.n.m., y los arroyos Palma y Cerro Viejo cuyo aporte conjunto se efectúa a menos de 50 m.s.n.m. A partir de la confluencia del río Vinazco y aguas debajo de ella a unos 10 kilómetros se sitúa la estación hidrométrica Alamo en la que se mide el escurrimiento de ambos ríos y sus afluentes. Aguas debajo de la estación mencionada la corriente se le conoce como río Tuxpan.

A 3 kilómetros de la estación Alamo y por margen derecha afluye el arroyo Mequetla que se forma en los límites de los estados de Veracruz y Puebla y se le conoce en sus orígenes como arroyo Nacional. A 7 kilómetros de la propia estación hidrométrica y sobre la margen izquierda afluye el río Buenavista, que

nace en las sierras de Tantina y Otontepec fluyendo hacia el sureste con el nombre de río Otontepec. A partir de esta confluencia y a la altura del poblado de Rancho Nuevo, el río Tuxpan cambia la dirección de su curso hacia el norte hasta el poblado de Timbradero, sitio en el que vuelve a adquirir un rumbo hacia el oriente, formando una serie de meandros y capturando por la margen izquierda al arroyo del Ojito y en la margen derecha al arroyo Tecomate, que nace a 5 kilómetros al suroeste de la población de Castillo Teayo, discurre en una dirección noreste y desemboca a 5 kilómetros al suroeste de Tuxpan, Ver., en el poblado de Zapotal de Zaragoza. El río Tuxpan desemboca en el Golfo de México en el sitio conocido como Barra de Tuxpan, en donde se forma por su margen derecha el estero de Jacome (tabla 3.2).

Tiene como subcuencas intermedias la del río Vinazco (27DC) y la del río Pantepec (27DD).

Nombre local de la corriente	Descripción del tramo	Áreas en kilómetros cuadrados				
		Del tramo	Acumuladas			
			Sub afluente	Afluente	Colector general	De la región
Río Pantepec	Hasta la confluencia del arroyo El Beltrán.	1070			1070	
Arroyo El Beltrán	Hasta su confluencia al río Pantepec.	279		279		
Río Pantepec	Hasta la confluencia del arroyo El Beltrán, incluido este.				1349	
Río Pantepec	Entre la confluencia del arroyo El Beltrán y la confluencia del río Vinazco.	258				
Río Pantepec	Hasta la confluencia del río Vinazco.				1607	

Río Vinazco	Hasta la confluencia del río Chiflón.	843		843		
Río Chiflón	Hasta la confluencia del río Vinazco.	574	574			
Río Vinazco	Hasta la confluencia del río Chiflón, incluido este.			1417		
Río Vinazco	Entre la confluencia del río Chiflón y su confluencia al río Pantepec.	1136				
Río Vinazco	Hasta su confluencia al río Pantepec.			2553		
Río Pantepec	Hasta la confluencia del río Vinazco, incluido este.				4160	
Río Pantepec	Entre la confluencia del río Vinazco y la estación hidrométrica Álamo.	181				
Río Pantepec	Hasta la estación hidrométrica Álamo.				4341	
Río Tuxpan	Entre la estación hidrométrica Álamo y la confluencia del río Buenavista.	220				
Río Tuxpan	Hasta la confluencia del río Buenavista.				4561	
Río Buenavista	Hasta su confluencia al río Tuxpan.	453		453		
Río Tuxpan	Hasta la confluencia del río Buenavista, incluido este.				5014	
Río Tuxpan	Entre la confluencia del río Buenavista y la confluencia del arroyo Tecomate.	214				
Río Tuxpan	Hasta la confluencia del arroyo Tecomate.				5228	

Arroyo Tecomate	Hasta su confluencia al río Tuxpan.	436		436		
Río Tuxpan	Hasta la confluencia del arroyo Tecomate, incluido este.				5664	
Río Tuxpan	Entre la confluencia del arroyo Tecomate y su desembocadura en el Golfo de México.	235				
Río Tuxpan	Hasta su desembocadura en el Golfo de México.				5899	10067

Tabla 3.2. Configuración del río Tuxpan a lo largo de la cuenca

Esta configuración es una representación general del cauce principal del río Tuxpan y de sus principales afluentes, pero se pueden encontrar más afluentes pequeñas en cada una de las más grandes que aquí no se mencionan. Pero estos afluentes más pequeños toman importancia cuando se encuentran localizados cerca de poblaciones importantes dentro de la cuenca como son Álamo y Tuxpan.

3.2.2. Orografía

El accidente orográfico más importante de la cuenca del río Tuxpan está constituido por la Sierra Madre Oriental, que se extiende desde Texas hasta el Cofre de Perote y que en su extremo sureste recibe los nombres de sierra de Hidalgo, sierra de Puebla y otras denominaciones locales; estos accidentes hacen contacto con la Cordillera Neovolcánica que se extiende hasta la costa, formando el límite entre las regiones 27 y 28; la cordillera está constituida por numerosas montañas que alcanzan elevaciones de consideración y recibe también numerosos nombres locales, entre ellos Sierra de Tlahuitoltepec en el Estado de Veracruz.

Estas sierras constituyen los sitios en donde ocurren las mayores precipitaciones en consecuencia en ellas se generan los escurrimientos que fluyen hacia la planicie dando lugar a corrientes generalmente de régimen torrencial, con gastos de consideración aún en época de estiaje, además de la formación de grandes avenidas de origen ciclónico.

El litoral del Golfo de México en el tramo correspondiente a la región, no es diferente al resto de las costas del propio Golfo; en general es una playa baja arenosa, que sólo excepcionalmente presenta afloramientos rocosos en algunas prominencias que están próximas a las costas. Es dominante la tendencia a que la costa siga una línea continua con numerosos esteros, barras y cordones litorales.

La región 27 se inicia en la barra de Tampico de donde se continúa en una larga península hacia el sureste por 25 kilómetros, para luego tomar la dirección sur y unirse a tierra firme. Se comunica con el Golfo de México por la bahía de Tanhujo y 10 kilómetros al sur de ella desemboca al río Tuxpan formando una barra; la costa sigue en dirección sureste con muchos médanos así como lagunas y pantanos pequeños.

3.2.3. Geología y tipo de suelo

El área en que se sitúa la Región Hidrológica No. 27 está ubicada en la porción más suroriental de la Sierra Madre Oriental, así como en la parte frontal de las provincias fisiográficas denominadas Mesa Central y Faja Costera del Golfo de México.

En la parte más occidental de la región, se considera que afloran rocas volcánicas del Cenozoico Medio y Superior que se encuentran junto con areniscas, lutitas y calizas del Jurásico y Cretácico Superior. Las arenas del Mioceno y los sedimentos recientes del Pleistoceno y Plioceno, se sitúan en general en la planicie costera del Golfo de México.

A lo largo de esta zona y en diversos tipos de sedimentos de edades geológicas también distintas, Petróleos Mexicanos ha explorado y explotado los principales yacimientos petroleros en tierra del país, como son Poza Rica, Cerro Azul, Álamo, etc.

En la parte más occidental de la región en estudio, los recursos naturales (bosque, minas y agua) tienen gran importancia, ya que se localizan explotaciones mineras de oro, plata, plomo, etc., así como zonas madereras explotadas y en proyecto.

Su suelo es de tipo feozem gleysol, reygosol y vertisol, el primero tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica, el gleysol presenta colores azulosos, verdoso o grises; el regozol se caracteriza por no presentar capas distintas y ser claro y el tipo vertisol, presenta grietas anchas y profundas en época de sequía.

3.2.4. Flora y fauna

La vegetación es de tipo bosque alto o mediano tropical, perennifolio. Los árboles dominantes de este tipo son el chicozapote, la caoba. En estas regiones, se localizaron las explotaciones de caoba y chicle. Existe una variedad de animales silvestres, entre los que se encuentran conejos, armadillos, mapaches, tejones, onzas y codornices, víboras como coralillos, mazacuatas, cuatro narices, voladores y chirrioneras.

3.2.5. Climatología

El clima de la región según Thornthwalte se clasifica como muy húmedo a húmedo sin estación seca bien definida; cálida en partes y en otras semiseco o templado. La estación invernal no está bien definida. La vegetación es de bosque tropical y subtropical presentado sitios con bosques de coníferas.

Según INEGI en la cuenca del río Tuxpan se encuentra un clima del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y la clave para representar este tipo de clima es A(w2).

3.2.5.1. Lluvia

Las precipitaciones extremas que se presentaron en el período de 1922 a 1966 en la estación Álamo tuvieron lugar en el año de 1952 con un registro máximo de 2,534 mm y en el año de 1940 con un registro mínimo de 502.4 mm, siendo el valor medio anual de 1,322.1 mm. El régimen fluvial manifiesta de una manera general un período de ocurrencia entre junio y octubre, en el que se presentan los valores más altos; registrándose además una etapa entre diciembre y febrero en que los vientos del norte provocan precipitaciones menores. En la zona montañosa el régimen fluvial presenta concentraciones en los meses de junio a septiembre. Respecto a precipitaciones máximas en 24 horas son del orden de 324.3 mm con un máximo de 630.4 mm, registrada en la estación Álamo en el año de 1954 (tabla 3.3).

PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL PROMEDIO (mm)			
MES	Estación Tuxpan de Rodríguez	MES	Estación Tuxpan de Rodríguez
Enero	33.0	Julio	160.6
Febrero	34.8	Agosto	150.4
Marzo	38.7	Septiembre	313.5
Abril	53.5	Octubre	183.4
Mayo	74.3	Noviembre	73.3
Junio	175.7	Diciembre	50.4
Annual	1341.7		
Años de observación	50		

Tabla 3.3. Precipitación mensual y anual promedio en Tuxpan

3.2.5.2. Temperatura

El contraste topográfico existente entre las zonas montañosas y la planicie costera de la región, provoca una diferencia en la temperatura media anual de 8.4 °C. En la zona montañosa las estaciones registran temperaturas de 16.2 °C mientras que en la estación Álamo, en la costa, se obtuvieron valores de 24.6 °C, teniéndose registros de 20.4 °C en la porción intermedia (tabla 3.4).

Las temperaturas máximas en la zona alta se presentan entre los meses de abril y septiembre, con valores de 33 a 40 °C.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL PROMEDIO (°C)			
MES	Estación Tuxpan de Rodríguez	MES	Estación Tuxpan de Rodríguez
Enero	19.9	Julio	28.0
Febrero	21.5	Agosto	28.2
Marzo	23.4	Septiembre	27.4
Abril	26.0	Octubre	25.7
Mayo	27.8	Noviembre	22.8
Junio	28.3	Diciembre	20.4
Anual	24.9		
Años de observación	50		

Tabla 3.4. Temperatura media mensual y anual en Tuxpan

3.2.6. Fenómenos naturales adversos y problemáticas dentro de la cuenca

A nivel nacional la mayor frecuencia de inundaciones se presenta en el estado de Veracruz, a causa de la alta incidencia de ondas tropicales durante el verano que provocan intensas lluvias. En las partes altas de la cuenca se presentan heladas que afectan la producción agrícola, mientras que en la temporada de estiaje, fuertes incendios forestales acaban con importantes zonas boscosas. Durante la época de invierno, la presencia de "nortes" con sus fuertes vientos afectan a la población en general así como sus cultivos agrícolas, principalmente de la costa, y al comercio marítimo por el cierre de importantes puertos.

Las principales problemáticas dentro de la región del estado de Veracruz son las mismas en todas las cuencas que posee, estas son las siguientes:

1. Rezago en los servicios de agua potable y alcantarillado. Las bajas coberturas de servicio (65% agua potable y 32% alcantarillado), se ubican debajo de las medias nacionales (85% y 73% respectivamente) lo anterior se origina principalmente por la dispersión de localidades rurales.

2. Contaminación de los cuerpos de agua. Los principales ríos se encuentran contaminados. Esta situación se debe a los bajos niveles de tratamiento ya que se trata sólo el 28% de volumen total descargado (1,068 mm³/año). El sector industrial constituye la principal fuente de contaminación, tratando únicamente el 33% de sus descargas (240 mm³/año), donde ingenios azucareros y PEMEX son los mayores aportadores de cargas contaminantes.

3. Falta de obras de protección contra inundaciones e invasión de cauces. La falta de estudios hidrológicos sobre todo en cauces de los principales ríos y el escaso mantenimiento en la infraestructura existente, así como falta de apego a la

ley en cuanto a zonas federales, provocan el incremento en el número de daños y afectaciones a áreas productivas y centros de población. Principalmente durante el paso de un evento hidrometeorológico extraordinario (huracán, tormenta, depresiones u ondas tropicales), que son recurrentes en el estado de Veracruz.

3.3. Estaciones hidrométricas y climatológicas

3.3.1. Estaciones hidrométricas

Dentro de la cuenca solamente se encuentra la estación hidrométrica Álamo. Esta estación está ubicada sobre el río Pantepec que es el principal afluente del río Tuxpan, se localiza a 3 kilómetros al norte del poblado de Álamo y frente a la congregación de Chapopote, dentro del municipio de Temapache, en el estado de Veracruz. Las coordenadas de ubicación son: longitud norte: $97^{\circ} 40' 24''$, latitud norte: $20^{\circ} 55' 54''$. El acceso a la estación se efectúa por la autopista México-Tuxpan, desviándose al noreste en Tihuatlán, Ver., en el que aproximadamente a 30 kilómetros se llega a Álamo.

La estación Álamo a cargo de la Comisión Nacional del Agua entró en operación un pluviómetro que proporciona datos de lluvia desde julio de 1965. La estación empezó a funcionar en noviembre de 1957. Se utiliza como banco de nivel un tubo galvanizado de 8 cm de diámetro localizado en el muro de protección de la casa del Sr. Próspero del Ángel, vecino de Chapopote de Núñez, Ver., con elevación arbitraria de 8.65 m.

3.3.1.1. Características del cauce y del aforo

El tramo desde donde se realizan las mediciones tiene una longitud de 100 metros con pendiente de 0.8 % aproximadamente; el talud de la margen izquierda es de tepetate deleznable, mientras que en la margen derecha es arcillo-arenoso con vegetación en el cauce. La sección de aforos es de forma irregular y el lecho está constituido por material arenoso y rocoso. El aforo se realiza vadeando o en canoa empleando el método de sección-velocidad, para lo que se utiliza un molinete Gurley. Se iniciaron los aforos el 26 de octubre de 1957, continuándose hasta la fecha.

3.3.2. Estaciones climatológicas

La estación climatológica más importante de esta cuenca se encuentra localizada en el municipio de Tuxpan de Rodríguez, la Comisión Nacional del Agua le asignó la clave 30 – 133. Su localización está determinada por las coordenadas: Latitud 20° 57' N y Longitud 97° 24' W con una altitud de 4 m.s.n.m. Otras estaciones importantes dentro de la cuenca que se ubican en poblaciones grandes son las siguientes (tabla 3.5).

ESTACIÓN	MUNICIPIO	ALTITUD (m.s.n.m.)	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
Huayacocotla	Huayacocotla	2,100	20°30'00"	98°29'00"
Zilacatipan	Huayacocotla	1,800	20°40'00"	98°23'00"
Zontecomatlán	Huayacocotla	550	20°46'00"	98°20'00"
Álamo	Temapache	88	20°55'46"	97°40'46"
Zacualpan	Huayacocotla	1,700	20°26'00"	98°20'00"

Tabla 3.5. Estaciones climatológicas cercanas a Tuxpan

En la parte alta de la cuenca y específicamente en el río Chiflón se sitúa la presa de almacenamiento La Mesilla cerca de la confluencia con el río Vinazco.

3.4. El puerto de Tuxpan

Es el puerto comercial más cercano a la Ciudad de México, con influencia directa en las regiones del Golfo y Centro-Sur, generadoras del 48% del PIB nacional. Cuenta con servicios de transporte marítimo que lo enlaza a la costa Este de Estados Unidos y Canadá, Centro y Sudamérica, Europa y África.

Es un puerto de altura certificado bajo ISO-9002 con un modelo de organización en el que las terminales compiten entre sí, ofreciendo altos niveles de productividad, bajos costos operativos, seguridad en el manejo de mercancías y trabajadores altamente calificados.

El puerto de Tuxpan, se ubica en la ciudad que lleva su nombre, al norte del estado de Veracruz sobre el litoral del Golfo de México.

Fue habilitado como puerto, para el movimiento de altura, cabotaje mixto y pesca, en el decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del 31 de mayo de 1974, asignándosele la situación geográfica de 20° 57' 30" de latitud norte y 97° 23' 00" de longitud oeste.

Es el puerto comercial principal centro productor y consumidor del país, ya que solo se encuentra a 330 kilómetros por carretera. Actualmente el puerto se ha situado ventajosamente en la importación de productos agrícolas a granel que son transportados por vía terrestre hacia el interior del país, ya que el costo por este modo de transporte en tramos menores a 400 kilómetros de distancia, es menor

incluso que el ferroviario, esto permite atacar principalmente la zona metropolitana del Valle de México.

Por su estratégica ubicación en el Golfo de México, es la puerta ideal de entrada al mercado de la costa este de los Estados Unidos y Canadá, Centro y Sudamérica, así como Europa y África.

El Puerto de Tuxpan cuenta con una extensa zona de influencia radial directa de 500 kilómetros, integrada por el Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Morelos, Veracruz, Querétaro, Puebla y Tamaulipas; mientras que su zona de influencia secundaria está definida en base a los estados cuya distancia es mayor a la antes mencionada, la cual se extiende hasta Nuevo León, Guanajuato, Guerrero, Sonora, Yucatán y Tabasco.

La zona de influencia del Puerto para el movimiento de carga al extranjero está orientada a países como EUA, Venezuela, Cuba, Puerto Rico, Costa Rica, Trinidad y Tobago, Argentina, Chile, África, Francia, Canadá, Alemania, entre otros, en donde se mantiene un mercado potencial de desarrollo con diversos productos de granel agrícola, granel mineral y acero (tabla 3.6).

Muelle	Usos	Longitud de atraque (m)
CELASA	Reparación de plataformas marítimas	119
EXXON	Manejo de fluidos	80
PESCA	Productos pesqueros	138
TERMINAL COBOS	Carga unificada	90
ETILENO	Fluidos	40
ARMADA(antiguo)	Militar	24
ARMADA	Militar	175
TRANSUNISA	Carga General y contenedores	227
FISCAL	Usos múltiples	300
DRAGAS APITUX	Personas y diversos	40

TRANSFERENCIAS GRANELERAS	Granos agrícolas y fluidos	80
C.C.C	Carga unificada, construcción de plataformas marinas.	44
C.F.E	General Unificada	80
PEMEX TAMPAMACHOCO	Fluidos y otros	350

Tabla 3.6. Características de los muelles en el puerto de Tuxpan

3. 5. Historia y situación actual de Tuxpan

La población del Estado de Veracruz es de 7,176,000 habitantes (censo de 2000), correspondiéndoles al municipio de Tuxpan 135,508 con una Tasa de Crecimiento Media Mundial (TCMA) de 2.1% a nivel municipal y 1.5% a nivel estatal.

Población total año 2000: 135,508

Lugar estatal: 9

Porcentaje de la población total estatal: 1.91 %

Densidad de población 2000: 127.60

Número de Localidades 1995: 453

Localidades rurales 1995: 450

Localidades urbanas 1995: 3

Población urbana 1995: 92,164

Población rural 1995: 35,458

Población indígena 1995: 2,233

Fuente: Censo INEGI 1995

El municipio de Tuxpan se encuentra localizado a los 20° 57'18" de latitud norte, 97° 23'58" de longitud oeste. Su altitud promedio sobre el nivel del mar es de 14 metros. Limita con los municipios de Álamo - Temapache, Tamiahua, Tihuatlán, Poza Rica y en una importante fracción oriental con el Golfo de México. Tiene una extensión de 1,051.82 km².

Se divide en 351 localidades, entre las que destacan Aire Libre, Barra Norte, Buena Vista, Buenos Aires, La Calzada, La Camelia, La Ceiba, Ceiba Rica, Comejen, Cruz Naranjos, Chacoaco, Chalahuite, Chincocoa, Chijolar, Chomotla, La Esperanza, Frijolillo, Héroes de Nacozari, Higueral, Jacobal, Juana Moza, Juan Zumaya, el Lindero, Morales, Nalúa, Ojite, Países Bajos, Peña de Afuera, Praxedis Guerrero, Santiago de la Peña, Tierra Blanca, La Victoria, Zapotal, Zaragoza, Zapotalillo, Zapote Bueno y El Alto.

Tuxpan era uno de los cuatro ex cantones que integraban la Huasteca Veracruzana junto con los de Ozuluama, Tantoyuca y Chicontepec.

Existen dos traducciones sobre el significado de Tuxpan, las etimologías más aceptadas son:

Río de los Conejos, de tochtli (conejo) y apan (río) c "en el lugar de los conejos", de tochtli (conejo) y pantli (encima o sobre de).

Tuxpan fue una antigua población Huasteca, hacía el año 1500 a. C. estaba situada en la desembocadura del río Tuxpan, con el nombre huasteco de Tambuc, hoy Tabuco (siete lugares). Posteriormente fue ocupada por los Totonacas. Se cree que aproximadamente a fines del año 1000 y en el año de 1400 tuvo lugar la fundación de Tochpan por los Toltecas del altiplano, en el sitio llamado actualmente Tabuco. Tuxpan se fundó sobre la rivera izquierda del río que le da su nombre, a 11 kilómetros de su desembocadura.

Hacia 1450 el pueblo de Tuxpan fue dado a la Alcaldía Mayor de Huauchinango, Puebla. A fines del siglo XV, Ahuizotl conquistó el pueblo de Tochpan. En 1518 Juan de Crijalva descubrió la Huasteca, encontró los ríos de cazonos y Tuxpan, llegó al Tanhuijo, que los españoles llamaron Canoas (hoy Tamesí) en donde tuvieron un enfrentamiento con los nativos.

En 1522, después de la conquista de Pánuco, en donde se fundó la Villa de Santiesteban del Puerto (una de las tres villas fundadas por los españoles, las otras dos fueron la Villa Rica de la Vera Cruz y la Villa del Espíritu Santo, siendo las actuales Veracruz y Coatzacoalcos), Hernán Cortés se asentó en la desembocadura del río Tuxpan junto a la antigua población. La primera descripción de Tuxpan fue proporcionada por Bernal Díaz del Castillo en su historia verdadera de la conquista de la Nueva España, Hernán Cortes conquistó estas tierras en 1522. En la época colonial el territorio que hoy ocupa Tuxpan y su región circundante, pertenecían a la provincia de Pánuco.

Una de las características principales de Tuxpan es el río del mismo nombre, que se forma en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental por la confluencia de los ríos Vinazco y Pantepec en la sierra de Huayacocotla. Sus principales tributarios son los arroyos Hondo, Maquetela y Cañas; el río Buenavista y las aguas de la Laguna Tampamachoco. El río Tuxpan es navegable 50 kilómetros antes de desembocar en el Golfo de México.

Tuxpan ha sido escenario de sucesos tan variados como el asedio constante de piratas corsarios ingleses de Mansfield, que la saquearon durante el siglo XVII. Afectada en el siglo XVIII por repetidas inundaciones, la sede se trasladó al sitio que actualmente ocupa.

Los siglos XVII y XVIII, representaron para la Huasteca una notable disminución de la población indígena, provocada por su captura para ser vendidos como

esclavos en las islas del caribe y por las condiciones de explotación a que fueron sujetos por la dominación hispana.

Con la creación del sistema de intendencia que sustituyó al de provincias, planteado por las reformas Borbónicas que entraron en vigor a partir de 1767, se pretendió ordenar las condiciones internas de las colonias españolas, centralizando las actividades político – administrativas y económicas en beneficio de la metrópoli. De esta manera el puerto de Tuxpan-Tabuco cayó dentro de la jurisdicción de Huachinango, perteneciente a la intendencia del Puebla.

En 1804 se crearon las receptorías marítimas de Tuxpan, Tamiahua y Tihuatlán. Durante el periodo independentista, Tuxpan suplió al puerto de Veracruz en el envío de insumos para la minería a los estados de San Luis Potosí, Querétaro, México, Coahuila y Durango, y a través suyo se mantuvo la tradicional comunicación ultramarina con el altiplano.

Tuvo activa participación en el conflicto armado de la Independencia; durante el gobierno del General Antonio López de Santa Anna, en 1853, se decreta la integración de Tuxpan a Veracruz, que pertenecía en ese momento a la alcaldía mayor de Huachinango, Puebla.

En 1856 se concluyó la edificación de su actual catedral, antigua parroquia de la Virgen de la Asunción. En 1900, Doheney descubrió los yacimientos de petróleo en la Hacienda de Tulillo, por lo que se abrió el primer pozo con petróleo a una profundidad de 545 pies en 1901.

Tuxpan participó en la Revolución Cubana del año de 1957 ya que en 1956, 82 cubanos en compañía de Fidel Castro Ruz, se embarcaron en el "Granma" desde Santiago de la Peña, para hacer la revolución en contra de Fulgencio Batista. Actualmente, en las márgenes del río, es factible apreciar una réplica de la embarcación utilizada. En 1914 fue capital provisional del estado de Veracruz

3.5.1. Síntesis de hechos históricos relevantes en la ciudad y el puerto de Tuxpan

- 1825** Establecimiento de los consulados de Francia, Prusia y España.
- 1826** Habilitado como puerto internacional.
- 1830** El 11 de octubre se le concede el título de Villa, por decreto No. 4126 expedido por el General Antonio López de Santa Ana.
- 1835** Se cierra el puerto al comercio de altura.
- 1838** Por encontrarse Veracruz incomunicado por la guerra de los Pasteles, se habilita nuevamente como puerto de Altura.
- 1839** Se deroga la habilitación de puerto de Altura.
- 1847** El 18 de abril fue invadido por los norteamericanos quienes entraron por el río, destruyendo sus fortificaciones y ocupando el puerto.
- 1863** Tuxpan pasa a formar parte del estado de Veracruz, ya que pertenecía al estado de Puebla.
- 1881** La Villa de Tuxpan se eleva a la categoría de Ciudad.
- 1901** Apertura del canal intracostero entre Tuxpan y Tampico.
- 1904** Se explota el primer pozo petrolero de gran producción.
- 1914** Habilitada como capital del estado de Veracruz por tres meses.
- 1928** Vuelo inaugural de la compañía Mexicana de Aviación con escala en esta ciudad.
- 1930** Se construyen muelles y patios para el movimiento petrolero.
- 1933** Construcción del antiguo muelle fiscal.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

1945 Se construyen las instalaciones de Pemex en Cobos.

1948 Se inicia la construcción de las escolleras..

1953 Se inician los trabajos para convertir a Tuxpan en puerto de altura con la construcción de la carretera México – Tuxpan – Tampico.

1964 Se inicia la construcción del puente sobre el río Tuxpan.

1976 Se construye el nuevo muelle fiscal, el embarcadero para pasajeros, el Parque Industrial Pesquero y el muelle para embarcaciones pesqueras.

1982 Se construye la bodega de tránsito y patios en el recinto fiscal, así como el embarcadero para pasajeros.

1982 Se inicia la reconstrucción de las escolleras.

1994 Se constituye la Administración Portuaria Integral de Tuxpan, S.A. de C.V.

El municipio de Tuxpan de acuerdo con los datos del año de 1990 se caracterizó por una actividad económica predominante en el sector de servicios, después el sector primario cuyas actividades principales son: la agricultura, con cultivos de maíz, naranja, frijol, caña de azúcar, mango, piña y plátano; la ganadería, la avicultura y la pesca. Las actividades agrícolas importantes son el cultivo de naranja, con 4,000 hectáreas y un volumen de producción de 48,000 toneladas de tangerina, con 1,004 hectáreas cultivadas que en 1990 produjeron 750 toneladas de cosecha. También se cosechan la toronja, frijol, aguacate, maíz, chile y sandía. Se explota asimismo el ganado bovino de engorda en gran escala, además el porcino, ovino y caprino.

En el renglón de pesca, se captura chucumite, camarón, mojarra y trucha, entre otras especies. Destaca el aspecto comercial con 1177 establecimientos instalados. Cuenta con 31 hoteles con un total de 1,263 habitaciones.

Por último el sector secundario cuenta con industrias diversas; entre ellas destacan la fabricación de muebles de madera, ventanas, piezas sueltas, fertilizantes, embarcaciones menores, plataformas marinas y empacadoras de mariscos. Además en el aspecto industrial Tuxpan cuenta con tres campos petroleros, empresas de alimentos y de la construcción.

3.6. Reseña histórica de afectaciones por ciclones tropicales en la cuenca

La región hidrológica en donde se enfoca este estudio y en especial la cuenca del río Tuxpan, está situada dentro de la zona tropical, directamente frente al Golfo de México y a una latitud tal que queda expuesta al embate de los ciclones tropicales que se generan en el Golfo de México y Mar Caribe, es decir en la zona ciclogénica denominada del Atlántico Norte. Estos ciclones cuando se convierten en huracanes y se desplazan hacia las costas del Golfo de México sobre todo en las del estado de Veracruz y Tamaulipas descargan una gran cantidad de masas de agua que transportan en su trayectoria. Causan a su paso daños que son causados principalmente por las intensas precipitaciones que inundan sembradíos y vías de comunicación en las partes bajas y provocan grandes avenidas en las partes río arriba de las cuencas, las cuales destruyen y transportan todo a su paso y en las partes bajas al desbordar los ríos agravan aún más las inundaciones.

Con lo anterior se puede afirmar que la cuenca del río Tuxpan se encuentra amenazada año con año por el azote de ciclones que producen grandes pérdidas en vidas humanas y bienes materiales, tanto por las precipitaciones extraordinarias, los vientos que alcanzan velocidades enormes, oleaje y marea de tormenta y las crecientes que se generan en los ríos como consecuencia de las precipitaciones antes mencionadas.

A continuación se presenta una reseña histórica de las crecientes ocurridas en esta cuenca generadas por ciclones que por su amplio radio de influencia, afectaron esta zona y que la estación hidrométrica registró valores de gastos máximos extraordinarios.

3.6.1. Creciente de septiembre de 1954

En el mes de septiembre de 1954 y ocasionadas por perturbaciones ciclónicas que tocó tierra a la altura de boca del río Cazonos, se produjeron lluvias de gran intensidad en la región.

Los efectos de la perturbación antes mencionada se manifestaron principalmente durante los días del 10 al 13 de septiembre, fechas en las que se registraron las mayores concentraciones de lluvia en la cuenca. Estas concentraciones máximas ocurrieron dentro de la región hidrológica 27 en las estaciones Tantina, Tuxpan, San Juan Apulco y Zacapoaxtla. La lámina acumulada en la estación Tuxoan fue de 695 mm en el periodo del 10 al 13 de septiembre.

3.6.2. Crecientes de julio y agosto de 1961

A finales de julio de 1961 se presentaron avenidas en las corrientes del Golfo de México provocadas por fuertes lluvias que se abatieron sobre la región. Se manifestaron principalmente en el periodo comprendido entre las dos últimas semanas del mes de julio y la primera del mes de agosto de 1961. En la estación de la cuenca media del río Tuxpan se presentaron alturas de 251 mm de lámina de agua. En la estación hidrométrica de Alamo se tuvo una medición de gasto de 965 m³/s el día 31 de julio de 1961.

3.6.3. Creciente de septiembre de 1967

Durante el año de 1967 se presentaron en la región dos ciclones, el Beulah en los últimos días de septiembre y el Fern, a principios de octubre; sus efectos fueron diferentes, el primero ocasionó crecientes de importancia en la zona, el segundo no tuvo repercusiones notables.

Se formó en la parte oriental del mar de las Antillas, a los $14^{\circ} 04'$ de latitud norte y los $56^{\circ} 46'$ de longitud oeste y se constituyó en huracán el día 8 de septiembre; siguió una trayectoria general hacia el noroeste con fuertes ondulaciones, tocando la parte sur de Haití el día 11 de ese mes; cruzó la zona norte de la Península de Yucatán. El día 18 de septiembre se encontraba en el Golfo de México, conservando su trayectoria hasta que el día 19 en que se desvió más hacia el norte para atacar el extremo sureste de Texas cambiando el día 21 hacia una dirección sur-suroeste ya dentro de la parte continental, disolviéndose en el sur del estado de Tamaulipas el día 23 de septiembre.

Los efectos del ciclón Beulah se dejaron sentir en la cuenca del río Tuxpan durante el periodo del 22 al 27 de septiembre, lapso en que se registraron las mayores concentraciones de lluvia en la región. En la estación hidrométrica Alamo se tomaron medidas de $1,824 \text{ m}^3/\text{s}$ del día 23 de septiembre de 1967.

En la estación hidrométrica Alamo que no contaba con estructura de aforos, se efectuaron los mismos vadeando o en cuenca. Durante la avenida en cuestión no se practicaron aforos, se dispuso únicamente de lecturas a escala, las cuales se observaron diariamente desde las 6 hasta las 18 horas cada 15 minutos.

A partir del día 24 se inició con una lectura de 1.42 m, el ascenso del nivel del agua, alcanzando ese día un máximo de 4.22 m; el día 25 el tirante llegó a los 4.34 m para descender los días 25 y 27. El día 28 en que ocurrió el pico de la avenida se tomaron lecturas a escala hasta las 22 horas, ocurriendo la máxima de las 20:30 a las 21:00 horas, con un valor de 4.93 metros.

3.6.4. Inundaciones del mes de octubre de 1999

En la región del estado de Veracruz y en específico en la cuenca del río Tuxpan, la precipitación fue muy intensa desde el día 29 de septiembre de 1999 presentándose una altura de precipitación de 52.3 mm, la mayor altura de precipitación se registró el día 30 de septiembre de 1999 con 103.7 mm; estas lluvias se ocurrieron debido a que la Onda Tropical número 35 repercutió en los estados de Veracruz y Tabasco. Posteriormente el día 4 de octubre de 1999 en el Golfo de México hace su aparición la Depresión Tropical número 11. Los sistemas de alertamiento e información del CENAPRED indicaban que se esperaba un potencial de lluvias en 24 horas, con tormentas locales intensas entre 250 mm y 375 mm y acumulaciones mayores en áreas montañosas de Veracruz. Entre 70 mm y 220 mm en Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Puebla e Hidalgo. Además de efectos de vientos y oleaje de depresión en el sur del Golfo de México.

La altura de precipitación que se presentó en la estación meteorológica de Tuxpan fue de **157.5 mm**. Siendo la mayor altura de precipitación en todo el país de las 7:00 horas del 4 de octubre a las 7:00 horas del 5 de octubre de 1999. Esta lluvia es casi la totalidad que se presenta en promedio en el mes de octubre que es de 183.4 mm.

El desarrollo y localización de la depresión tropical se muestra en la siguiente imagen (figura 3.6).

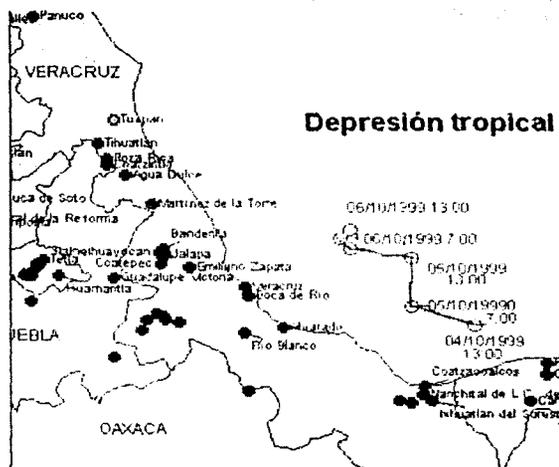


Figura 3.6. Trayectoria de la depresión tropical 11

Los relatos de este desastre que azotó la región son diversos y muy dramáticos.

“Desaparecieron la mayoría de las viviendas, hoteles y puentes que comunican al norte de Veracruz hasta Tuxpan. En Tuxpan el desabasto continúa. El kilogramo de huevo y de jitomate se encuentra hasta en \$ 25”. Novedades. 14 de octubre de 1999.

“Han aparecido enfermedades de la piel por el contacto con el lodo y el agua contaminada e infecciones intestinales. Se recrudece la epidemia de dengue. La Secretaria de Salud tomó medidas sanitarias con ayuda de la Secretaria de la Defensa Nacional. En cuanto a robos, se han registrado denuncias de pillaje en abarrotes, almacenes y tiendas por robar pan y leche”. Novedades. 14 de octubre de 1999.

"El Álamo el presidente municipal José Luis Faizal, señaló que hay 22 damnificados, 4 muertos y 10 desaparecidos. El río Tuxpan arrastró mas de 1,000 reses muertas". La Jornada. 13 de octubre de 1999.

"Desaparece el poblado de Mixum del municipio de Pantepec, Veracruz. Fueron sepultadas el total de viviendas que eran 28 y hay 18 muertos". La Jornada. 11 de octubre de 1999.

"La organización de ayuda humanitaria Caritas reporta que aún faltan alimentos enlatados, leche en polvo y agua en los centros de acopio. Fue destruida parte de la carretera México-Tuxpan". La Jornada. 11 de octubre de 1999.

"Especulan con víveres en Veracruz y la Cruz Roja Mexicana envía 150 toneladas de víveres. Luis Gabriel Méndez obispo de Tuxpan, Veracruz calificó de muy grave la situación para los damnificados". El Universal. 11 de octubre de 1999.

"Laboran 8,000 militares en la zona de desastres. Se llevan a cabo el plan DN-III-E y el SM-AM99 de la Armada de México. El presidente de México Ernesto Zedillo con 9 secretarios de estado visita la zona de desastre en Veracruz". La Jornada. 11 de octubre de 1999.

"El gobernador del estado de Veracruz Miguel Alemán califica de la peor tragedia en la entidad en los últimos 400 años". La Jornada. 11 de octubre de 1999.

"Destrucción, escasez de víveres y falta de servicios en las viviendas es el panorama que dejaron las lluvias en Tuxpan, Veracruz. Miles de personas perdieron sus pertenencias. El desbordamiento del río Tuxpan provocó la destrucción de negocios lo que fue aprovechado por otras personas para saquear". La Jornada. 9 de octubre de 1999.

Hay que recordar que el estado más afectado fue el de Puebla debido a los deslizamientos de taludes, sobre todo el del cerro La Aurora en Teziutlán que destruyó cientos de casas y dejó sin vida a más de 200 personas.

Según datos oficiales los saldos que arrojo estas inundaciones en el estado de Veracruz y en otras entidades son las siguientes (tabla 3.7).

ESTADO	MUNICIPIOS AFECTADOS	MUERTOS	DAMNIFICADOS	ALBERGUES	PERSONAS EN ALBERGUES
Puebla	49	237	42,000	189	31,860
Veracruz	82	88	87,865	83	15,857
Hidalgo	33	4	59,536	15	1,828
Tabasco	14	0	106,313	152	17,212
TOTAL	178	329	295,714	439	66,757

Tabla 3.7. Resumen de daños y afectaciones por estado

En las siguientes páginas se muestran fotografías tomadas en la ciudad y el puerto de Tuxpan después de las lluvias extraordinarias. En estas imágenes se puede observar la magnitud del desastre.



Figura 3.7. Imagen de una avenida en el centro de Tuxpan



Figura 3.8. Vista desde el malecón en el puerto de Tuxpan



Figura 3.9. Imagen del centro de la ciudad de Tuxpan



Figura 3.10. Vista de la avenida principal hacia el cauce del río Tuxpan

4. Análisis de la cuenca en el sitio de estudio

4.1 Hidrograma unitario

En el capítulo 1 se estudió la forma de cómo obtener el hidrograma; una vez que se ha obtenido este para determinados lapsos de tiempo en el punto de interés del cauce, se puede luego calcular un *hidrograma unitario* con características específicas de duración y altura de lámina o tirante determinados. El hidrograma unitario es un hidrograma generado por una lluvia efectiva que haya provocado escurrimiento directo con un tirante o altura de lámina unitario con una duración determinada que se distribuye uniformemente en la cuenca.

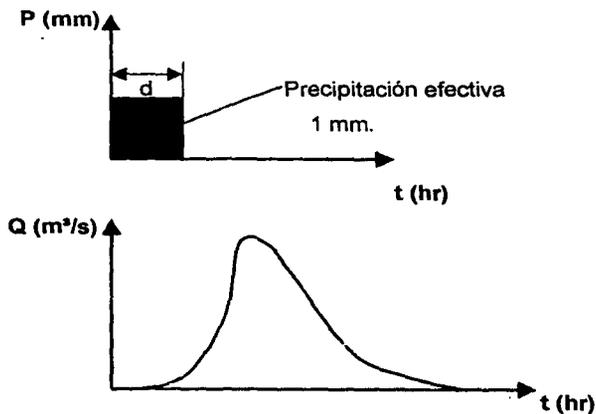


Figura 4.1. Hidrograma Unitario

Sirve para diferenciar el efecto de una misma lluvia que se presente en dos cuencas o subcuencas con la misma área de distribución y el mismo suelo; entonces se puede decir que el volumen que escurre es igual pero al usar el hidrograma unitario se puede observar que no es así, ya que existen otras características fisiográficas que hacen que el escurrimiento directo sea diferente en volumen. Una vez que se cuenta con el hidrograma unitario se puede calcular el gasto de diseño, que generalmente es el gasto pico en el hidrograma unitario; este se obtiene haciendo uso de la altura de precipitación máxima que haya generado un escurrimiento extraordinario.

$$Q_d = q_p * h_p$$

donde

Q_d es el gasto de diseño

q_p es el gasto unitario pico

h_p es la altura de precipitación máxima

El concepto de hidrograma unitario fue propuesto por Sherman en el año de 1932 y se basa en las siguientes hipótesis:

- ✓ **De linealidad o proporcionalidad.** Quiere decir que dos tormentas con la misma duración generarán dos hidrogramas cuyas ordenadas estarán en la misma proporción que sus respectivas abscisas o intensidades de lluvia.
- ✓ **Tiempo base constante.** En una cuenca donde se presenten tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, la duración del tiempo base o del escurrimiento directo es la misma.
- ✓ **Superposición de causas y efectos.** Un periodo determinado de lluvia genera un hidrograma unitario y para los periodos lluviosos que le preceden se les puede superponer los hidrogramas resultantes.

Para que las hipótesis anteriores se cumplan es necesario que las tormentas presenten las condiciones de uniformidad siguientes:

- La lluvia efectiva o la que produce escurrimiento directo debe estar distribuida uniformemente en toda la superficie de la cuenca.
- La lluvia efectiva debe estar distribuida uniformemente en toda su duración dentro de la cuenca.

En una cuenca modelo tal vez se cumplan estas hipótesis, pero en una cuenca natural es difícil que esto suceda ya que generalmente la duración de lluvia es variable en cada tormenta; además cuando el área de la cuenca es muy grande sucede que aún es menos probable que la lluvia se mantenga constante y uniforme en toda su superficie, es decir que tenga la misma intensidad y duración.

El método más usado para obtención del hidrograma unitario es el *tradicional*. Este se basa en las hipótesis anteriores de que las precipitaciones con una misma duración y distribución en la superficie de la cuenca producen hidrogramas unitarios semejantes. Su forma de determinarlo por medio de registros de lluvia es la siguiente:

1. Se calcula el hidrograma de precipitación media en la cuenca.
2. Se obtiene el hidrograma de escurrimiento directo, separándolo del escurrimiento base.
3. Se calcula el volumen de escurrimiento directo usando la siguiente ecuación:

$$VED = \Delta t \sum Qi$$

donde

V_{ED} es el volumen de escurrimiento directo, en m^3 .

Δt intervalo de tiempo, en s.

Q_i el gasto de escurrimiento directo en el i -ésimo intervalo de tiempo, en m^3/s .

4. Se obtiene la altura de lámina de escurrimiento directo L_E como:

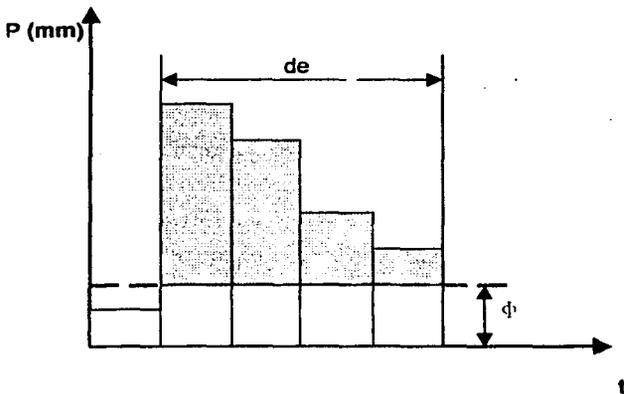
$$L_E = 0.001 V_{ED} / A_c$$

donde

L_E lamina de escurrimiento directo, en mm.

A_c área de la cuenca, en km^2 .

5. Se calculan las ordenadas del hidrograma unitario, dividiendo cada una de las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo entre la lámina de escurrimiento directo.
6. Se calcula el hietograma de precipitación efectiva y se obtiene la duración de lluvia efectiva, asociada al hidrograma unitario calculado en el paso 5.



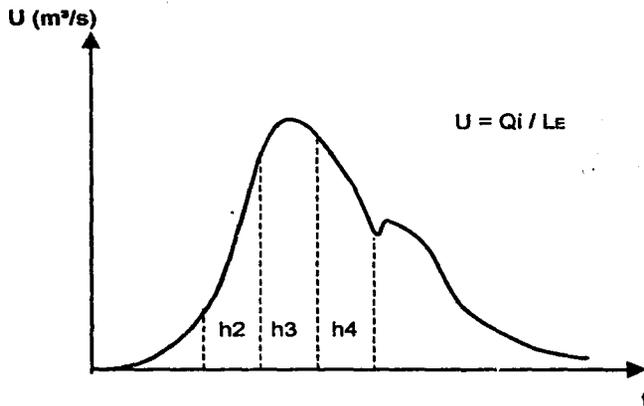
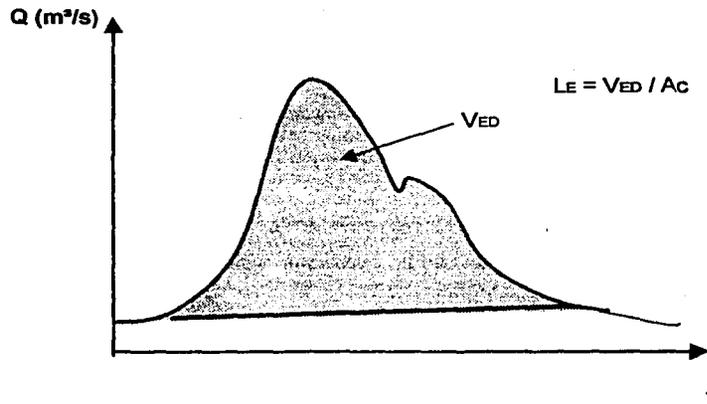


Figura 4.2. Cálculo del hidrograma unitario

Cuando no se presentan las condiciones ideales de uniformidad, se utilizan entonces otros métodos. Así cuando la lluvia no tiene la misma duración se usa el método de la *curva S*.

El método de la curva S se basa en el principio de superposición de causas y efectos, esto es, que en una secuencia de lluvias se produce un hidrograma total resultante de la suma de los hidrogramas que produciría cada lluvia en particular. Se usa para calcular el hidrograma unitario correspondiente a una duración cualquiera d_1 , a partir de un hidrograma unitario asociado a una duración diferente, d_0 .

Cuando además no se cumple con la uniformidad en la intensidad de lluvia se hace uso de otros métodos más complejos, por ejemplo los métodos matriciales como el *hidrograma unitario instantáneo*.

La mayoría de las cuencas de nuestro país no se encuentran instrumentadas, es decir, no cuentan con estaciones pluviométricas e hidrométricas, es por esto, que los registros históricos de lluvia no son confiables y por lo tanto los métodos de obtención de hidrogramas unitarios no se pueden aplicar. Para esto se emplean métodos de obtención llamados sintéticos.

4.2 Hidrograma unitario sintético

Estos métodos se utilizan cuando no se cuenta con registros suficientes de lluvia y de volúmenes de agua escurriendo porque ya sea que las estaciones de medición no son eficientes o no existen. Además estos métodos se usan para desarrollar hidrogramas unitarios para otros puntos en una corriente dentro de la misma cuenca o para cuencas con características similares. Los métodos más usados son el Hidrograma Unitario Triangular, el Hidrograma Unitario Adimensional, el Hidrograma Unitario Geomorfológico y el Hidrograma Unitario de Snyder.

Los hidrogramas unitarios sintéticos se obtienen, como en el caso de los métodos empíricos, a partir de las características de la cuenca. Los parámetros que ya están definidos resultan del análisis de un gran número de cuencas

4.2.1. Hidrograma unitario sintético adimensional

El hidrograma adimensional fue propuesto por el Soil Conservation Service. Este tipo de hidrograma permite definir con buen detalle la forma del hidrograma, el gasto se expresa por la relación del gasto q con respecto al gasto pico q_p , y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del gasto pico t_p . Los valores de q_p y t_p se calculan utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular.

$$q_u = A / 4.878 t_p$$

donde

q_u gasto pico, en m^3/s

A área de la cuenca, en km^2

t_p tiempo pico, en h

El tiempo pico t_p , se expresa en terminos del tiempo de retardo t_r y de la duración de la lluvia efectiva d . Además el tiempo de retraso t_r se expresa como $t_r = 0.6 t_c$, siendo t_c el tiempo de concentración en la cuenca.

$$t_p = 0.5 d + 0.6 t_c$$

Conocidos el gasto pico q_u , y el tiempo pico t_p , el hidrograma se obtiene de la siguiente manera:

1. Se escoge un valor de t / t_p y con la tabla 4.1 se obtiene q / q_u .
2. Del valor de q / q_u se obtiene el valor de q , ya que se conoce q_u .
3. Del valor de t / t_p seleccionado se despeja el valor de t , ya que se conoce t_p .
4. Se repiten los pasos 1 a 3 las veces que sea necesario para definir la forma

t / t_p	q / q_u	t / t_p	q / q_u
0	0	1.8	0.42
0.1	0.015	2.0	0.32
0.2	0.075	2.2	0.24
0.3	0.16	2.4	0.18
0.4	0.28	2.6	0.13
0.5	0.43	2.8	0.098
0.6	0.60	3.0	0.075
0.8	0.89	3.5	0.036
1.0	1.0	4.0	0.018
1.2	0.92	4.5	0.009
1.4	0.75	5.0	0.004
1.5	0.56		

Tabla 4.1. Hidrograma Unitario Adimensional

4.2.2. Hidrograma unitario sintético geomorfológico

Fue propuesto este concepto por primera vez en el año de 1979 por Rodríguez-Iturbide y Valdés. En 1980, Gupta demostró que el hidrograma geomorfológico de una cuenca es igual a la función de densidad de probabilidad del tiempo de viaje T_b a la salida de la cuenca, de una gota de agua que cae en la cuenca aleatoriamente con distribución espacialmente uniforme.

La función densidad de probabilidad del tiempo de viaje total en una trayectoria T_s esta dada por la convolución de las funciones de densidad de cada tramo de la trayectoria. Estas probabilidades son función únicamente de la geomorfología y de la geometría de la cuenca.

Los autores simplificaron las expresiones y llegaron a una ecuación general que es la siguiente:

$$h_B(t) = \sum_{s \in S} f_{T_s}(t) * \dots * f_{T_{\alpha}}(t) P(s)$$

Las ecuaciones simplificadas son una función de los parámetros RA, RB y RL. Estos parámetros son aplicación de las leyes de Horton. Este autor sugirió varias leyes empíricas:

1. Ley de los números de corrientes

$$\frac{n_i}{n_{i+1}} = R_B \quad N_i = (R_B)^{k-i}$$

donde N_i es el número de corrientes de orden i .

Una gráfica del logaritmo de N_i contra i muestra entre ellas una regresión lineal. La magnitud de esa pendiente es el logaritmo de R_B . Este valor es una constante y se le denomina como grado de bifurcación.

2. Ley de longitudes de las corrientes.

$$\frac{\bar{L}_{i+1}}{\bar{L}_i} = R_L$$

El promedio de las longitudes de corrientes para cada orden i esta dada por:

$$\bar{L}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} L_{ij} \quad \bar{L}_i = \bar{L}_1 (R_L)^{i-1}$$

donde L_i es la longitud de una corriente de orden i .

3. Ley de áreas de las corrientes.

$$\frac{\bar{A}_{i+1}}{A_i} = R_A$$

El promedio de las áreas de las corrientes de cada orden esta dado por:

$$\bar{A}_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} A_{ij}}{N_i}$$

donde A_i es el área que contribuye al escurrimiento de una corriente de orden i y no el área de la región superficial que drena directamente a la corriente.

Para cuencas naturales, los valores de R_B varían de 3 a 5, los valores de R_L de 1.5 a 3 y los de R_A de 3 a 6.

Así Rodríguez-Iturbide y Valdés sugirieron utilizar un hidrograma unitario instantáneo triangular cuyo gasto pico q_p y tiempo de pico t_p fueron obtenidos con regresiones ajustadas y están dadas por las siguientes expresiones:

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} \quad t_p = \frac{0.44 L_\Omega}{V} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38}$$

donde L_Ω es la longitud en kilómetros de la corriente de mayor orden y V es la velocidad de pico esperada que varia entre un rango de 2.5 a 3.1 m/s.

4.3. Aplicación

Aquí se explicará la forma y metodología que se siguió para la obtención de los hidrogramas unitarios en la cuenca así como el uso de cada uno de los

resultados para posteriormente obtener el gasto de diseño. Cabe señalar que el resultado importante que se desea calcular es el gasto de diseño presentado en la desembocadura del río, el cual puede ser usado como dato para el cálculo posterior de obras hidráulicas.

4.3.1. Metodología

En el primer procedimiento se genera el hidrograma unitario utilizando el método del hidrograma unitario sintético adimensional aplicado a toda la cuenca del río Tuxpan. Para posteriormente calcular el gasto de diseño correspondiente.

El segundo procedimiento consiste en usar un gasto de diseño proporcionado por la CNA que es de **3,713 m³/s** correspondiente a un periodo de retorno de 50 años; a este se le sumará el gasto calculado en el resto de la cuenca. Para calcular el gasto de diseño, se utilizarán el método del hidrograma unitario sintético geomorfológico para las subcuencas definidas aguas debajo de dicha estación, y para las corrientes tributarias que no sean uniformes, es decir, que no tengan bien definida la zona en donde desembocan o no sean corrientes permanentes, se usará el método del hidrograma unitario sintético adimensional.

El gasto se calcula utilizando la información de altura de precipitación máxima presentada en la estación meteorológica de la ciudad de Tuxpan del día 4 de octubre de 1999 que fue de **157.5 mm**. Esta altura de precipitación acumulada es de un periodo de 24 horas y se considera en este estudio como uniforme en toda la cuenca ya que esta lluvia ha sido la máxima histórica presentada en toda la cuenca del río Tuxpan.

Para la obtención de las características geomorfológicas de la cuenca se utilizaron cartas topográficas de INEGI a escala 1:50,000 y 1:250,000. Se hizo uso del programa AUTOCAD 2000 para digitalizar estas cartas e identificar y trazar el parterque de la cuenca y las corrientes. Con este mismo programa

se determinó la longitud y área de contribución de cada corriente, el orden de la red de drenaje y el número de corrientes para cada orden.

Para el cálculo de la pendiente media de cada corriente se trabajó directamente sobre las cartas topográficas, identificando las cotas sobre el nivel del mar y se hizo uso de la expresión matemática de Taylor y Schwarz.

$$S = \left[\frac{L}{L1/\sqrt{S1} + L2/\sqrt{S2} + \dots + L_m/\sqrt{S_m}} \right]^2$$

En el caso del hidrograma unitario adimensional, se hace uso de la información de la longitud de corriente principal y el área de contribución de esta. Posteriormente se condensan estos resultados en una hoja de cálculo (excel) y se calculan los demás datos necesarios para generar el hidrograma.

Los parámetros de Horton para la generación del hidrograma unitario geomorfológico se calculan directamente en una hoja de cálculo (excel), para luego calcular en la misma hoja de cálculo los demás datos necesarios para generar el hidrograma. El hidrograma se genera usando el programa de computadora HUIG.BAS realizado por el M. I. Héctor Eslava M.

El desarrollo detallado de cada método hasta la obtención de los hidrogramas se muestra en los anexos al final de este trabajo.

4.3.2. Generación de hidrogramas

4.3.2.1. Procedimiento 1. Hidrograma unitario generado por el método del hidrograma unitario adimensional aplicado en toda la cuenca del río Tuxpan

Como se mencionó, en este primer método se genera el hidrograma unitario por medio del método adimensional para el total de la superficie de la cuenca

En el Anexo A se desarrolla el método del hidrograma unitario adimensional y se muestran los resultados obtenidos.

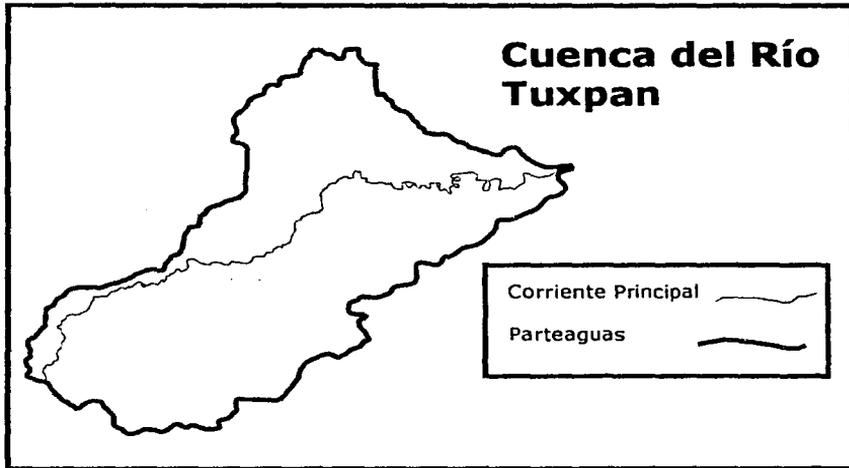


Figura 4. 3. Cuenca del Río Tuxpan

RESULTADOS DEL HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL

Corriente	Nombre	Área (km ²)	Longitud (km)	Pendiente	tp (hr)	qp (m ³ /s/mm)
1	Río Tuxpan	5623.5	208.538	0.00675	30.533	38.309

IV.3.2.2. Procedimiento 2. Hidrograma unitario generado por los métodos el hidrograma unitario adimensional y el hidrograma unitario geomorfológico aguas abajo de la estación Álamo

En este procedimiento se aplican dos métodos diferentes según corresponda al tipo de corriente. A partir de la estación hidrométrica Álamo, se trazó el parteaguas para definir una subcuenca, posteriormente se determinan las corrientes uniformes en donde se aplica el geomorfológico; luego se determinan las corrientes no definidas donde se aplica el método adimensional.



Figura 4.4. Cuenca del río Tuxpan hasta la estación Álamo

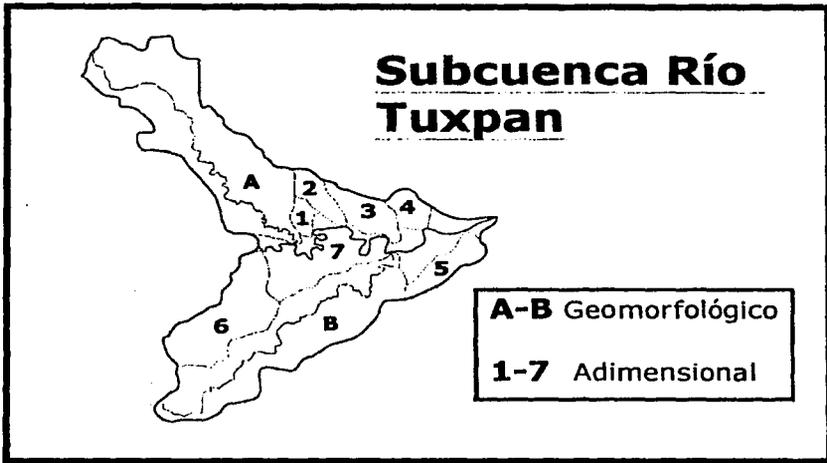


Figura 4.5. Subcuenca del río Tuxpan

En los anexos B y C se muestra con detalle los datos y resultados obtenidos del desarrollo de cada método.

RESULTADOS DEL HIDROGRAMA UNITARIO GEOMORFOLÓGICO

Corriente	Nombre	Área (km ²)	Longitud (km)	Pendiente
A	Río Potrero	442.64	80.05	0.00211
B	Río Cañas	394.29	77.84	0.00133

Corriente	Nombre	RA	RB	RL	tp (hr)	qp (m ³ /s/mm)
A	Río Potrero	4.964	4.283	1.619	22.85	4.030
B	Río Cañas	4.774	4.136	1.573	26.69	3.073

RESULTADOS DEL HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL

Corriente	Nombre	Area (km ²)	Longitud (km)	Pendiente	tp (hr)	qp (m ³ /s/mm)
1	Estero Tenechaco	33.88	9.87	0.00152	5.179	1.361
2	Río Chichihual	55.88	15.637	0.00132	7.785	1.493
3	Río 3	39.04	14.529	0.00287	5.459	1.488
4	Río 4	19.41	8.074	0.00240	3.719	1.085
5	Río Tecoxtempa	50.13	23.566	0.00204	9.027	1.155
6	Estero El Idolo	166.66	33.441	0.0098	15.660	2.214
7	Tramo Río Tuxpan	242.37	67.634	0.00011	63.705	0.791

4.3.3. Cálculo del gasto de diseño

El gasto de diseño se determina por el producto de cada gasto unitario correspondiente a cada método por la altura de lámina que se designo como uniforme. Esta altura de lámina es de **157.5 mm**.

Gasto de diseño para el procedimiento 1

Corriente	Nombre	tp (hr)	qp (m ³ /s/mm)	Qd (m ³ /s)
1	Río Tuxpan	30.533	38.309	6,033.67

Gasto de diseño para el procedimiento 2

Corriente	Nombre	tp (hr)	qp (m ³ /s/mm)	Qd (m ³ /s)
A	Río Potrero	22.85	4.030	634.73
B	Río Cañas	26.69	3.073	483.99

1	Estero Tenechaco	5.179	1.361	214.36
2	Río Chichihual	7.785	1.493	235.15
3	Río 3	5.459	1.488	234.36
4	Río 4	3.719	1.085	170.89
5	Río Tecoxtempa	9.027	1.155	181.91
6	Estero El Idolo	15.660	2.214	348.71
7	Tramo Río Tuxpan	63.705	0.791	124.58
TOTAL	Subcuenca Tuxpan			2,628.68

Al gasto total de la subcuenca Tuxpan se le debe sumar el gasto de diseño proporcionado por la CNA que es de 3,713 m³/s.

Tramo	Nombre	Característica	Qd (m ³ /s)
1	Subcuenca Tuxpan 1	Aguas arriba de Álamo	3,713.00
2	Subcuenca Tuxpan 2	Aguas debajo de Álamo	2,628.68
TOTAL	Cuenca Tuxpan		6,341.68

Método	Característica	Gasto de diseño (m ³ /s)
1	Generación de Hidrograma Unitario Adimensional para toda la cuenca	6,033.67
2	Generación de Hidrograma Unitario por los métodos Adimensional y Geomorfológico en la subcuenca del río Tuxpan aguas abajo de la estación Álamo.	6,341.68

4.4. Obras de protección y legislación sobre protección civil

4.4.1. Obras de protección

A lo largo del cauce del río Tuxpan y sobre todo en la parte baja de este, se han llevado a cabo obras de protección para evitar lo más posible los desbordamientos ocasionados por precipitaciones extraordinarias, además de corregir el flujo a través del cauce. Estas obras se realizaron debido al constante embate de ciclones tropicales que provocan las lluvias ciclónicas ya mencionadas anteriormente; con estas obras se pretende proteger a las poblaciones más grandes y expuestas a inundaciones como es el poblado de Álamo municipio de Temapache. En Tuxpan perteneciente al municipio del mismo nombre, así como el puerto de Tuxpan, existen los proyectos pero aún no se llevan a cabo obras de protección y corrección del cauce como en el caso de Álamo; los únicos trabajos realizados fueron la limpieza del cauce y dragado.

En lo que respecta a la población de Álamo se han realizado varias obras en el cauce del río Pantepec que es el principal tributario del río Tuxpan y de las que destacan se muestran en la siguiente figura (tabla 4.2).

UBICACIÓN	OBRA
"La Ventana"	- Rehabilitación del bordo de protección. - Elevación de la rasante de la carretera que une los poblados de Álamo y de Agua Nacida.
Río "El Idolo"	- Construcción de muro de contención y bordo. - Rectificación de la descarga del río.
Río "La Tortuga"	- Eliminación de puentes fuera de servicio para la recuperación de la sección hidráulica. - Rectificación de la descarga del río.
Río "San Mateo"	Rectificación de la descarga del río.

Río Pantepec	- Rectificación y dragado del río Pantepec, aguas debajo de la descarga del río "El Ídolo" - Definición de la sección hidráulica del río.
Río Pantepec agua debajo del puente "José López Portillo"	- Rehabilitación del espigón No. 22. - Protección y encauzamiento del escurrimiento por ambos cauces del río Pantepec.
Bordo de Protección	- Construcción de bordo de protección desde las instalaciones de PEMEX hasta aguas debajo de la descarga del río "El Ídolo".
Dren de alivio, aguas arriba del río "Oro Verde"	- Construcción de dren para alivio de la subcuenca del río "Oro Verde"

Tabla 4.2. Obras de protección en el río Tuxpan a la altura de Álamo

Cabe aclarar que estas obras se encuentran aún en proceso de terminar, para su revisión y diseño se llevó a cabo un estudio hidráulico de las obras existentes y se propuso llevar a cabo medidas prácticas como la limpieza de los cauces y de los puntos en donde se encuentran puentes, protección de torres de alta tensión y dragado donde se encuentran conductos de PEMEX. Esta revisión se realizó tomando datos proporcionados por la CNA, así para el río Pantepec se propuso un gasto de entrada de $3,713 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde a un periodo de retorno de 50 años. Para los ríos Tortuga, Oro Verde e Ídolo los gastos calculados fueron de 75.84, 31.25 y $154.28 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Se llevó a cabo obras de dragado aguas arriba y abajo del puente "José López Portillo" donde el río Pantepec divide su cauce en dos brazos. Con esto se mejoró la distribución del flujo del gasto, haciendo pasar la mayor parte por el brazo izquierdo que se encuentra más alejado de la población.

4.4.2. Legislación sobre protección civil

En materia de legislación sobre protección civil existen varios reglamentos y leyes estatales y federales expedidas, donde se explican claramente cuales son las facultades y obligaciones de los poderes federal, estatal y local en caso de una eventualidad que requiera el movimiento de cuerpos especializados de rescate y auxilio. Además en estas leyes se explican claramente las funciones de cada parte que integre los comités y unidades de protección civil.

Ahora se presentan los puntos más importantes de la ley número 92 de protección civil para el estado de Veracruz, que es la entidad en la cual la mayor parte de las consecuencias de un evento hidrometeorológico repercuten sobre la población para el caso de la cuenca del río Tuxpan.

En el artículo 1 se define el término Protección Civil como *"la acción solidaria de los diversos sectores que integran la sociedad bajo la dirección de la Administración Pública en la búsqueda de la seguridad y salvaguarda de la población, sus bienes y entorno, ante la ocurrencia de una calamidad"*. El término calamidad se entiende como efecto perturbador.

En los artículos 2, 5 y 7 se explican las obligaciones del gobierno, así como también como se conforma el sistema de protección civil:

"La prevención de calamidades y el auxilio de la población son obligaciones del gobierno del estado, de los ayuntamientos y la sociedad civil".

El Sistema Estatal de Protección Civil es responsabilidad del Estado y esta integrado por:

- I. Consejo Estatal de Protección Civil
- II. Unidad Estatal de Protección Civil
- III. Unidades Regionales de Protección Civil
- IV. Centro Estatal de Operaciones

- V. Sistema Municipal de Protección Civil
- VI. Organismos Especializados de Emergencia
- VII. Grupos de Voluntarios

En los artículos restantes se explican las funciones, obligaciones y la composición de cada uno de los órganos que integran el Sistema Estatal de Protección Civil.

Uno de las obligaciones es exigir a hospitales, sanatorios, industrias, comercios, oficinas, unidades habitacionales, clubes sociales y deportivos, centros educativos, terminales y estaciones de transporte de pasajeros y carga, centrales de abasto, gaseras, gasolineras, almacenes, bodegas, talleres y demás edificios públicos, el crear su propia unidad interna de protección civil.

Los consejos estatales organizan y programan reuniones y sesiones ordinarias en donde se toman decisiones, también se planean trabajos tales como:

1. Identificación de zonas y tipos de riesgos.
2. Elaborar, actualizar y proponer el programa de protección civil.
3. Ejecuta dicho programa.
4. Promover la participación de la sociedad para formar grupos de voluntarios.
5. Establece sistemas de información y registro de instituciones, personas y recursos materiales disponibles para el caso de emergencia.
6. Facilita sistemas de comunicación y monitores para el seguimiento y evaluación inicial de situaciones de emergencia.
7. Promueve cursos de capacitación, ejercicios y simulacros.
8. Fomenta actividades, proporciona material y gente especializada en escuelas, colonias y comunidades para informar y educar a la sociedad en temas relacionados con la protección civil.

Los organismos que actúan en caso de emergencia son oficiales de auxilio, cruz roja, bomberos, servicios médicos y urgencias médicas. Así como los grupos de voluntarios.

Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se observó la importancia que adquiere el análisis de la cuenca baja del río Tuxpan desde el punto de vista de ingeniería civil, en específico de hidrología y de protección civil, y por supuesto tomando en cuenta aspectos sociales, económicos, políticos, ecológicos e históricos. Para que los resultados obtenidos por análisis numéricos tengan un significado real y tangible, es necesario tomar en cuenta y poner en la balanza los aspectos antes mencionados; es decir, se debe considerar que en ese espacio existe un ecosistema donde cohabitan muchos seres vivos con el ser humano.

Esta cuenca es un espacio donde se explotan los recursos naturales y se aprovechan de diversas maneras, por ejemplo: la calidad del suelo es básica para el sector agropecuario; los bosques para la extracción de materias primas como son las maderas y minerales; los terrenos llanos y grandes planicies son aptos para la construcción de viviendas y el desarrollo de infraestructura; el mar y la playa otorgan grandes beneficios como vías de comunicación y la posibilidad de desarrollar centros industriales y de comercio con el exterior; sin olvidar el sector turístico y la pesca. En todos los casos anteriores, por las actividades que se realizan se generan una gran cantidad de empleos para la gente que habita dentro de esta cuenca. El petróleo, en particular en esta zona adquiere una importancia vital para el desarrollo de las comunidades ya que crea una diversidad de empleos directos e indirectos y por ser una industria en continuo desarrollo.

Entonces, el análisis de ingeniería hidrológica es solo un paso del largo proceso que se realiza para poder concluir un estudio y proponer soluciones reales y factibles, que benefician a las comunidades que habitan dentro de la

cuenca estudiada, al medio ambiente y permiten planear de manera adecuada el desarrollo a futuro de la zona por parte de los gobiernos locales y federal.

Los resultados obtenidos del análisis hidrológico en este trabajo por medio de los dos métodos usados (hidrograma unitario adimensional e hidrograma unitario geomorfológico) arrojan un valor de gasto extraordinario. Es muy importante hacer notar que estos resultados se generaron por medio de hidrogramas unitarios sintéticos y no hay forma de compararlos con algún dato numérico medido directamente en el sitio, tampoco existe información histórica suficiente para cotejar estos resultados, únicamente la proporcionada por la CNA que fue medida en la estación hidrométrica Álamo antes de que se presentara la avenida extraordinaria que destruyó la misma estación, este valor corresponde al día 4 de octubre de 1999, el dato es de **3,713 m³**, y sirvió para calcular el gasto de diseño en el segundo método. Comparando ambos valores, se puede observar una similitud y es posible entonces tomar los resultados como certeros.

Se usó el valor de altura de precipitación acumulada en 24 horas de **157.5 mm** generada el día 4 de octubre de 1999 en toda la cuenca del río Tuxpan, se trata de un valor extraordinario por lo que el gasto que se obtiene también es extraordinario. Se considera la altura de precipitación máxima como constante y uniforme en toda la extensión de la cuenca. Es cierto que es difícil que se presente la situación anterior, pero puesto que se trata de un valor máximo es válido usarlo para fines de calcular gastos extraordinarios y además porque on se contó con información de otras estaciones meteorológicas. Es muy importante aclarar que no se valorizó la infiltración, el almacenaje y la evaporación, por lo tanto toda el agua que se precipitó en la superficie de la cuenca se considera que escurrió hasta la desembocadura del río Tuxpan, esta suposición se hizo tomando en cuenta que una semana antes se presentaron grandes precipitaciones en la misma zona y el suelo estaba saturado lo que no permite la infiltración; que la insolación no fue suficiente para evaporar grandes cantidades de agua. No se obtuvo el periodo de retorno para los resultados obtenidos puesto que no se cuentan con datos históricos, pero se toma el valor proporcionado por la CNA de 50 años.

Al comparar los resultados obtenidos para cada método se toma la determinación de adoptar el valor de **6,341.68 m³/s** para el caso de un estudio posterior, ya que es un valor máximo que permite tener aún mayor grado o factor de seguridad al iniciar una obra hidráulica.

La importancia de los resultados obtenidos en este trabajo radica en que servirán como base para continuar con los estudios requeridos a futuro que complementan y en conjunto integran un estudio completo de la cuenca baja del río Tuxpan, tales estudios son los de impacto ambiental, geotecnia, planeación, etc.

Esta cuenca no se encuentra instrumentada, por lo tanto no cuenta con datos suficientes; lo anterior ocurre con la mayoría de las cuencas en México. Al no tener datos y resultados de alturas de precipitación de otras estaciones, hidrogramas y demás información histórica necesaria, no se tiene entonces algo con lo cual poder tener un parámetro de comparación. Así que los datos arrojados se toman como los de mayor certeza y solamente se comparan con datos que en cuencas similares se tienen para estar seguros de que los valores obtenidos sean realistas. Cuando en una cuenca se encuentran estaciones hidrométricas que además proporcionen registros históricos, el resultado que se obtenga usando la metodología aquí expuesta, tendrá gran importancia porque se parte de una base y de valores desde donde se puede comparar los resultados.

La mayoría de las víctimas mortales y muchos de los daños que se registraron tanto en Tuxpan como en otras localidades cercanas del estado de Veracruz y Puebla se debieron haber evitado, puesto que las lluvias en toda esa región habían sido muy intensas días antes que se presentara el evento máximo, lo que provocó la saturación pronta del suelo; la lluvia del día 4 de octubre fue casi la totalidad de la precipitación mensual promedio de octubre para Tuxpan. Luego, en las zonas altas de la sierra, la cubierta vegetal ha sido removida para ganar espacios de cultivo y terrenos para construcción de viviendas, el impacto negativo que las obras urbanas han hecho al suelo, provocando su

reblandecimiento y ocurrió el deslizamiento de taludes; posteriormente el transporte de ese sedimento, adicionando más suelo erosionado, desechos industriales y basura que en las zonas bajas dentro del cauce del río, impedían el flujo del agua. Todos los factores anteriores ocasionaron el desbordamiento de los cauces de los tributarios y de la corriente principal; el río Tuxpan llevaba una corriente inmensa que arrasó con todo a su paso. La población fue alertada pero no con la suficiente anticipación ni con la autoridad necesaria para convencerlos que se trataba de una situación crítica.

No es suficiente contar con reglamentos y leyes de protección civil, se deben de acatar sus ordenamientos; proveer a las comunidades con lo necesario para su protección con programas de educación e información que promuevan la cultura de protección civil, elaboración de planes de evacuación, simulacros y conocimiento de zonas seguras; formar cuerpos de rescate eficientes y suficientes con material y equipo; obras hidráulicas para control de avenidas, etc. No hay que olvidar que esta región de Veracruz es una zona crítica en materia de protección civil que año con año es atacada por fenómenos hidrometeorológicos.

Con lo anterior dicho, se cree necesario poner atención especial a los estudios de hidrología y de protección civil en todas las cuencas de nuestro país, para esto es necesario tener los elementos básicos para realizar estos estudios y análisis. Primero se debe planear correctamente el establecimiento de estaciones hidrométricas y pluviométricas que cuente con personal capacitado que opere, mantenga y administre cada estación. Posteriormente, también se deben planear adecuadamente los estudios y análisis de cada cuenca, de sus tributarios y corriente principal; el régimen de lluvias; cuantificar los valores de evaporación, infiltración y escurrimiento con la incorporación de la relación con otras cuencas; estudiar el impacto del ser humano dentro de la cuenca; contar con la información meteorológica para pronosticar posibles eventos extraordinarios. Es decir, vigilar y monitorear cada cuenca permanentemente, para observar por ejemplo, el comportamiento ante el embate de fenómenos atmosféricos. Estos estudios son labor de la CNA, de los institutos de

investigación y de los centros de Protección Civil, pero la puesta en marcha depende totalmente de la aprobación de las autoridades correspondientes.

La metodología en este utilizada en este trabajo puede extenderse a cuencas similares que tengan las siguientes características:

- ❖ La cuenca no cuenta con información suficiente para aplicar los métodos tradicionales para el cálculo de hidrogramas.
- ❖ Una corriente principal que desemboca al mar.
- ❖ Las comunidades que habitan dentro de la cuenca están expuestas a los efectos de fenómenos hidrometeorológicos como los ciclones tropicales.
- ❖ La población es grande y en constante crecimiento; gran parte de ellas viven en zonas de alto riesgo.
- ❖ Existe gran infraestructura en las planicies, en la playa, costa y mar adentro.
- ❖ Son importantes económicamente y/o son potencialmente zonas de crecimiento.

Las características anteriores son las más importantes o por lo menos las más notables, pero, no quiere decir que una cuenca que no cumpla con alguna de estos puntos no esté considerada para un estudio similar.

Esta parte del Golfo de México ha sido y seguirá como una zona con gran riesgo por el embate de los ciclones, de aquí la importancia de estudiar, analizar y proporcionar soluciones para que se lleven a cabo y se tomen medidas estructurales e institucionales. Las medidas estructurales van desde la rehabilitación, reparación, construcción y ampliación de infraestructura como puentes, alcantarillas, bordos y presas, la corrección de cauces, hasta la determinación del desalojo definitivo de poblaciones por ser zonas demasiado peligrosas. Hay que actualizar los datos e información requerida para cada estudio, así como comprobar físicamente por medio de trabajo de campo estos datos.

Las medidas desde el punto de vista institucional son la integración y puesta en marcha de programas de educación en protección civil, prevención y mitigación

de riesgos, creación de fondos de ayuda en casos de emergencia. Se deben de corregir los planes de estudio e incluir en las materias desde el nivel básico el estudio y enseñanza de la protección civil; difundir en los medios masivos de comunicación información detallada y de fácil entendimiento acerca de los peligros y medidas a tomar en caso de emergencias.

Para que esto sea posible, se deben de destinar los fondos suficientes y material humano capacitado. Los gobiernos locales, estatales y federal han llevado a cabo medidas de protección civil y en los últimos años se creo un fondo para la recuperación de zonas afectadas por fenómenos naturales; ya que la incidencia de ciclones tropicales y las consecuencias negativas han ido en aumento. Aún así, no es suficiente esta ayuda y es necesario tomar medidas diversas para proteger el patrimonio de miles de personas que viven en zonas de alto riesgo por la incidencia de ciclones.

Hablando sobre el río Tuxpan, por la historia que se conoce, siempre ha sido un importante canal de navegación y se ha utilizado su cauce para transportar mercancías y gente. Sus características fisiográficas permiten lo anterior, pero no en una longitud grande. De todas formas es suficiente para utilizarlo y desarrollar un puerto mayor del tipo fluvial. Así que este río puede y debe crecer para el beneficio de la población local y también para el área de influencia que es bastante grande.

Dentro de la cuenca del río Tuxpan se han establecido importantes centros urbanos que han provocado un gran deterioro ambiental en determinadas zonas. Desde el punto de vista ecológico, adquiere una importancia particular porque el río lleva consigo nutrientes que alimentan las lagunas estuarinas. En la boca del río se concentran estos nutrientes y son un punto vital para la sustentación del ecosistema, ya que proporciona alimento desde los niveles básicos de la cadena trófica. La marea y sus efectos son interesantes pero no se toman en este estudio. Así como el arrastre de sedimentos, el transporte litoral, la erosión y otros muchos más temas, sobre todo mar adentro.

A pesar del gran caudal que lleva este río, el aprovechamiento de este vital recurso no es suficiente y gran parte de las poblaciones cercanas al cauce principal sufren en época de sequía la escasez de agua. Las viviendas, industrias y comercios que aprovechan el agua lo hacen de forma no eficiente, porque retornan el agua residual sin tratamiento alguno y contribuyen al aumento de la contaminación del agua que de por sí es grave.

Finalmente es necesario remarcar la importancia de hacer análisis similares en todas las cuencas de nuestro país, ya que así es posible tener presente la importancia de proteger esos sitios por el embate de fenómenos extraordinarios. Se deben considerar los aspectos más importantes desde el enfoque de ingeniería civil además de tomar en cuenta los aspectos sociales, políticos, ecológicos y económicos que integran a toda la región estudiada.

En México es posible llevar a cabo estos estudios porque se cuenta con el material humano necesario que lo lleve a cabo. Si se profundiza en cada tema, se hace un análisis multidisciplinario que integra todos los aspectos antes mencionados. Sólo es necesario destinar mayores recursos materiales y económicos por parte de los gobiernos locales, estatales y federal para realizar los trabajos.

No son suficientes los fondos creados y los planes con los que se cuenta para proteger a las poblaciones. La mayoría de estos planes son de orden operativo y se efectúan cuando el evento ocurrió. Es necesario tener el concepto de prevención de desastres más claro tanto en la población civil como en las autoridades.

Es posible que estas regiones sean autosuficientes, ya que cuentan en su mayoría con recursos naturales y humanos. Hace falta infraestructura y recursos económicos para tener un crecimiento sostenido. El desarrollo sustentable no es sólo cuestión de escritorio y papeles, se debe tener en la mente el significado de este concepto, llevarlo a la acción y considerarlo siempre en todos los proyectos presentes y futuros.

Bibliografía

1. Libros

Fundamentos de hidrología de superficie; Aparicio Mijares Fco. Javier; LIMUSA; México D. F.; 1997.

Hidrología aplicada; Chow Ven Te, Maidment David R., Mays Larry W.; McGraw Hill; México D. F.; 1995.

Hidrología en la ingeniería; Monsalve Sáenz Germán; Alfaomega; México D. F.; 1999.

Hidrología para ingenieros; Linsley Ray K., Kohler Max A., Paulhus Joseph L.; McGraw Hill; México D. F.; 1985.

Historia de México; Tomos I y II; Miguel León-Portilla; Salvat Editores; México D. F.; 1978.

La Tierra, mares, climas y continentes; Dixon Dougal; Circulo de Lectores; Barcelona, España; 1985.

2. Artículos y tesis

Revisión y diseño de las obras de protección del río Pantepec (Edo. de Veracruz); Gracia Sánchez Jesús, Sánchez B. José L.; Instituto de Ingeniería U. N. A. M.; Junio 2000; México D. F.

Programación y aplicación del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico; Eslava Morales Héctor; División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería; U. N. A. M.; Agosto 1997; México D. F.

Estimación de avenidas con parámetros geomorfológicos; Santillán Hernández Oscar D.; División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería; U. N. A. M.; 1996; México D. F.

Obras de protección en el río Pantepec; Comisión Nacional del Agua - DIELEM; Junio 2000; México D. F.

Fascículo no. 3: Inundaciones; CENAPRED; 1996; México D. F.

Fascículo no. 5: Huracanes; CENAPRED; 1996; México D. F.

3. Páginas WEB

www.tuxpam.gob.mx

www.infoport.com.mx/Tuxpan/

www.prodigyweb.net.mx/macg1/tuxpan.htm

www.tuxpamver.com.mx/

www.imta.mx

www.sedena.gob.mx/ejto/index.html

www.cenapred.unam.mx

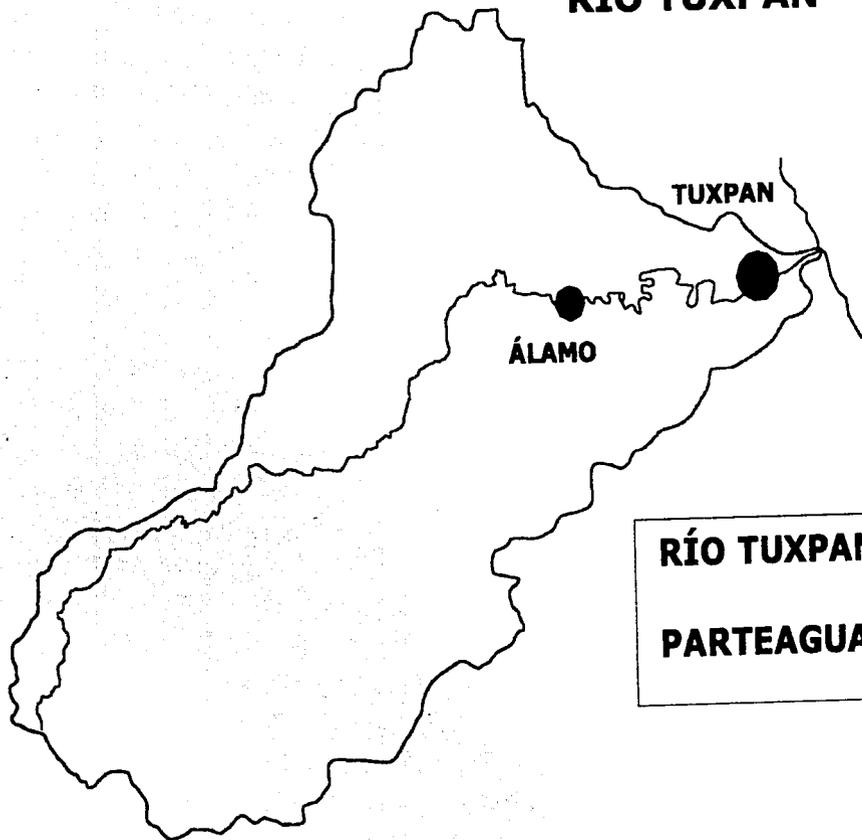
www.sgp.cna.gob.mx/wwwroot/Publico/Regionales/Golfo_Centro/golfo

Anexo A

Desarrollo del procedimiento 1

**Hidrograma Unitario Adimensional para la
cuenca del Río Tuxpan**

CUENCA DEL RÍO TUXPAN



RÍO TUXPAN



PARTEAGUAS



Hidrograma Unitario Adimensional: RÍO TUXPAN

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si) ^{1/2}	L/(Si) ^{1/2}
2185	2150	4344	4.34	0.00806	0.08976	48395.02
2150	2100	4385	4.39	0.01140	0.10678	41064.77
2100	2000	3756	3.76	0.02662	0.16317	23019.10
2000	1750	3977	3.98	0.06286	0.25072	15862.20
1750	1500	3512	3.51	0.07118	0.26680	13163.21
1500	1200	3870	3.87	0.07752	0.27842	13899.71
1200	1000	4083	4.08	0.04898	0.22132	18448.20
1000	875	3777	3.78	0.03310	0.18192	20761.82
875	750	5345	5.35	0.02339	0.15293	34951.56
750	625	2215	2.22	0.05643	0.23756	9324.07
625	500	3064	3.06	0.04080	0.20198	15169.74
500	450	6432	6.43	0.00777	0.08817	72951.47
450	400	5431	5.43	0.00921	0.09595	56602.38
400	350	7391	7.39	0.00676	0.08225	89860.70
350	300	6987	6.99	0.00716	0.08459	82594.50
300	250	6433	6.43	0.00777	0.08816	72968.48
250	200	7232	7.23	0.00691	0.08315	86976.64
200	150	8341	8.34	0.00599	0.07742	107731.37
150	100	8540	8.54	0.00585	0.07652	111609.66
100	50	7160	7.16	0.00698	0.08357	85681.00
50	40	8902	8.90	0.00112	0.03352	265602.03
40	30	8575	8.58	0.00117	0.03415	251102.59
30	20	7145	7.15	0.00140	0.03741	190986.80
20	10	7137	7.14	0.00140	0.03743	190666.13
10	7	10340	10.34	0.00029	0.01703	607044.01
7	5	22200	22.20	0.00009	0.00949	2338915.13
5	3	16126	16.13	0.00012	0.01114	1448021.42
3	0	21838	21.84	0.00014	0.01172	1863199.63
SUMA =		208538	208.538			8176573.36

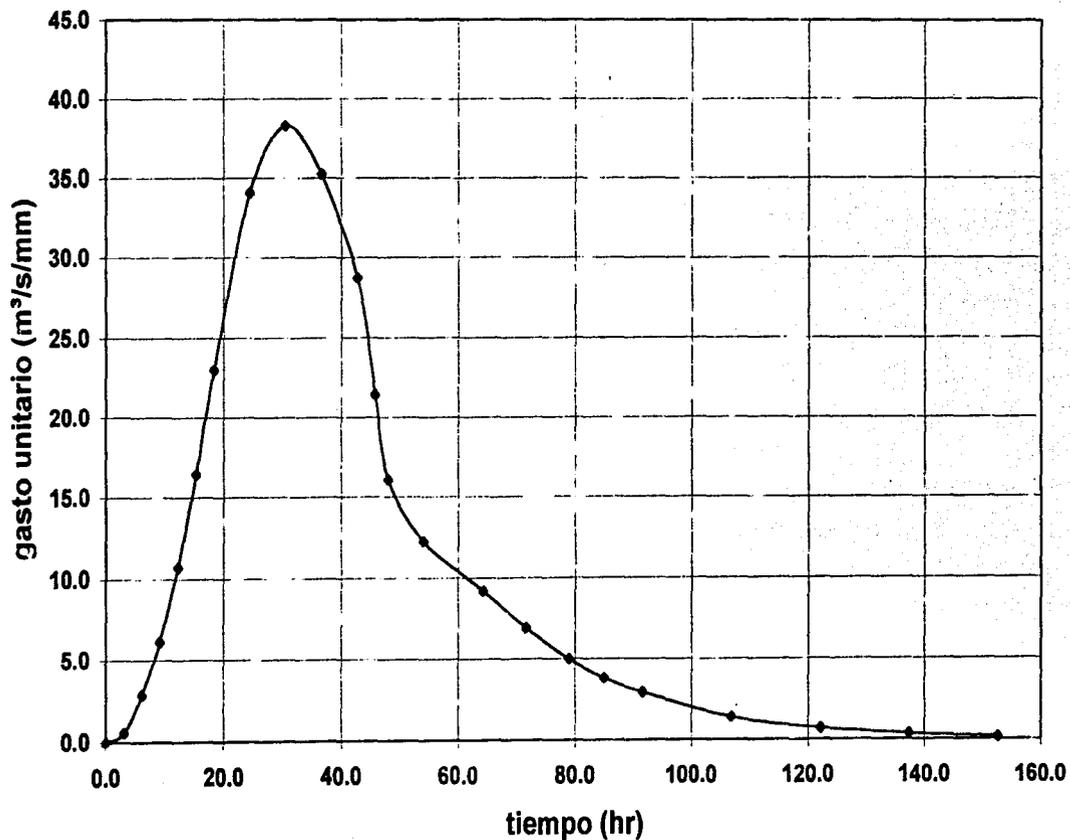
Pendiente (s) = 0.00675
 Área (A) = 5623.5 km²
 Longitud (L) = 208.538 km

T. conc (tc) = 27.757 hr
 D. exceso (de) = 27.757 hr
 T. retraso (tr) = 16.654 hr

Tiempo pico (tp) = 30.53 hr
 Gasto pico (qp) = 38.31 m³/s/mm

t/tp	q/qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	3.1	0.6
0.2	0.075	6.1	2.9
0.3	0.16	9.2	6.1
0.4	0.28	12.2	10.7
0.5	0.43	15.3	16.5
0.6	0.6	18.3	23.0
0.8	0.89	24.4	34.1
1	1	30.5	38.3
1.2	0.92	36.6	35.2
1.4	0.75	42.7	28.7
1.5	0.56	45.8	21.5
1.8	0.42	48.0	16.1
2	0.32	54.0	12.3
2.2	0.24	64.3	9.2
2.4	0.18	71.6	6.9
2.6	0.13	79.0	5.0
2.8	0.098	85.0	3.8
3	0.075	91.6	2.9
3.5	0.036	106.9	1.4
4	0.018	122.1	0.7
4.5	0.009	137.4	0.3
5	0.004	152.7	0.2

Hidrograma Unitario: Cuenca Río Tuxpan

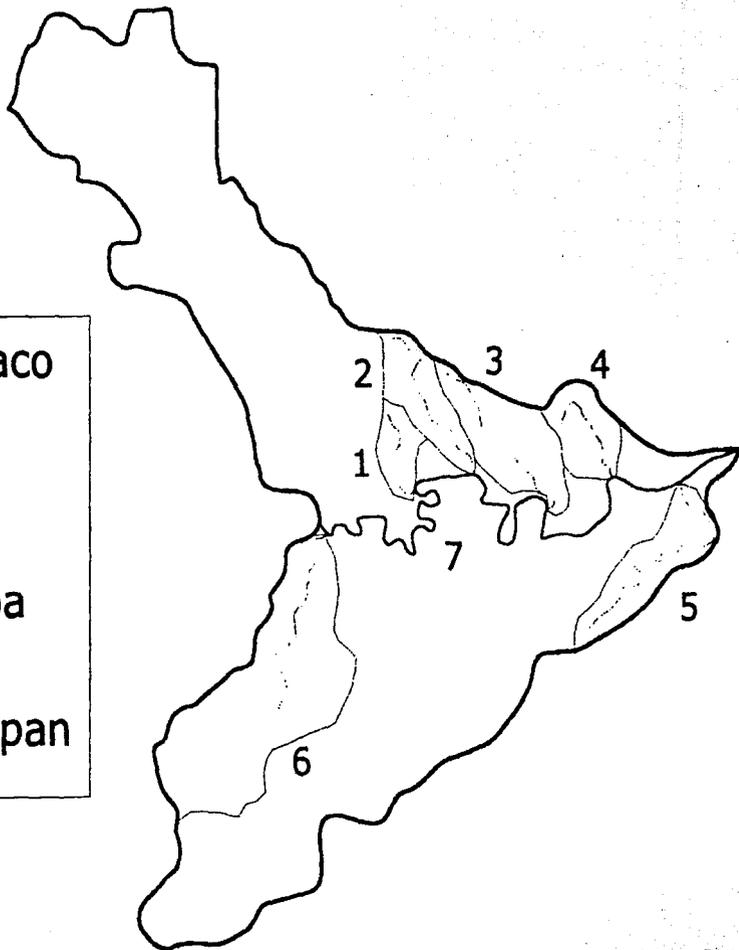


Anexo B

Desarrollo del procedimiento 2

**Hidrograma Unitario Adimensional para la
subcuenca del Río Tuxpan**

- | | |
|----------|-------------------------|
| 1 | Estero Tenechaco |
| 2 | Río Chichihual |
| 3 | Río 3 |
| 4 | Río 4 |
| 5 | Río Tecoxtempa |
| 6 | Estero El Ídolo |
| 7 | Tramo Río Tuxpan |



Hidrograma Unitario Adimensional: ESTERO TENECHACO

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	S _i	(S _i) ^{1/2}	L _i /(S _i) ^{1/2}
40	30	460	0.46	0.02174	0.14744	3119.87
30	20	690	0.69	0.01449	0.12039	5731.57
20	10	1640	1.64	0.00610	0.07809	21002.25
10	5	3020	3.02	0.00166	0.04069	74220.76
5	2	4060	4.06	0.00074	0.02718	149357.98
SUMA =		9870	9.87			253432.43

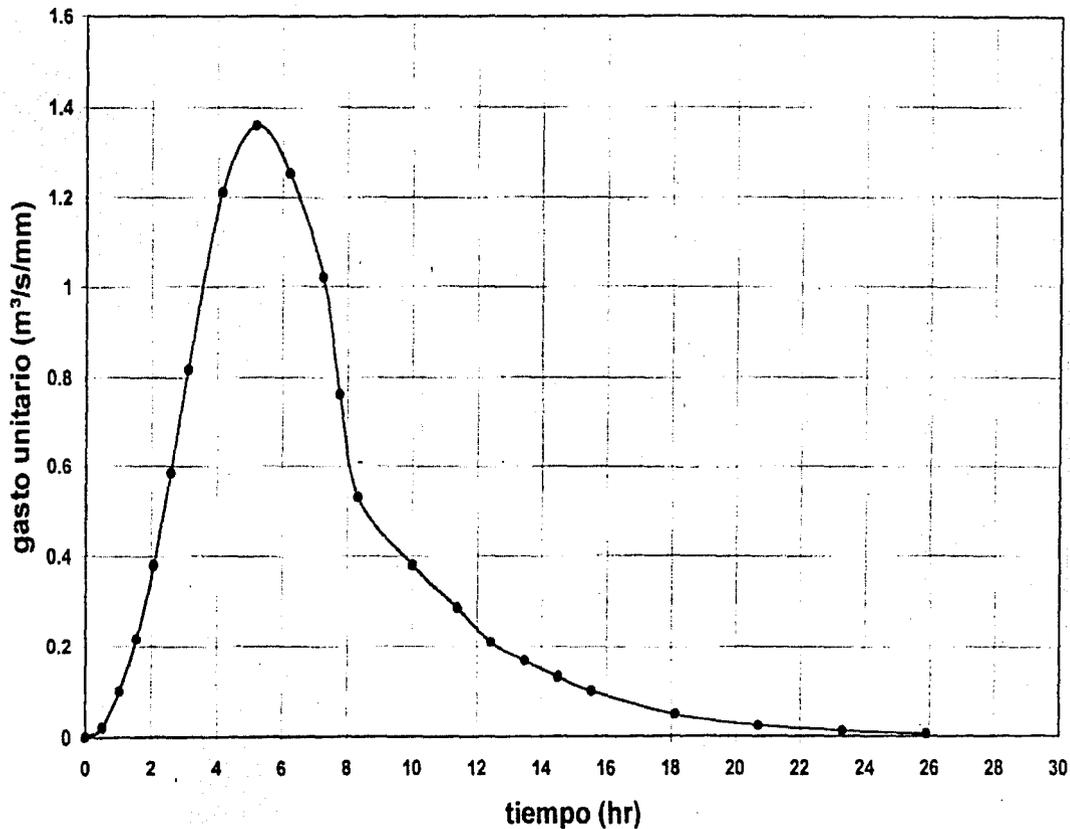
Pendiente (s) =	0.00152
Área (A) =	33.88 km ²
Longitud (L) =	9.87 km

T. Conc. (tc) =	4.708	hr
D. exceso (de) =	4.708	hr
T. retraso (tr) =	2.825	hr

Tiempo pico (tp) =	5.18	hr
Gasto pico (qp) =	1.36	m ³ /s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	0.6	0.0
0.2	0.075	1.1	0.1
0.3	0.16	1.7	0.2
0.4	0.28	2.3	0.3
0.5	0.43	2.8	0.5
0.6	0.6	3.4	0.7
0.8	0.89	4.6	1.1
1	1	5.7	1.2
1.2	0.92	6.8	1.1
1.4	0.75	8.0	0.9
1.5	0.56	8.5	0.7
1.8	0.42	10.3	0.5
2	0.32	11.4	0.4
2.2	0.24	12.5	0.3
2.4	0.18	13.7	0.2
2.6	0.13	14.8	0.2
2.8	0.098	16.0	0.1
3	0.075	17.1	0.1
3.5	0.036	19.9	0.0
4	0.018	22.8	0.0
4.5	0.009	25.6	0.0
5	0.004	28.5	0.0

Hidrograma Unitario: Estero Tenechaco



Hidrograma Unitario Adimensional: RÍO CHICHIHUAL

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si) ^{1/2}	L ² /((Si) ^{1/2})
46	40	940	0.94	0.00638	0.07989	11765.66
40	30	1130	1.13	0.00885	0.09407	12012.06
30	20	1750	1.75	0.00571	0.07559	23150.32
20	10	4070	4.07	0.00246	0.04957	82109.16
10	5	3099	3.10	0.00161	0.04017	77152.03
5	3	4648	4.65	0.00043	0.02074	224070.24
SUMA =		15637	15.64			430259.48

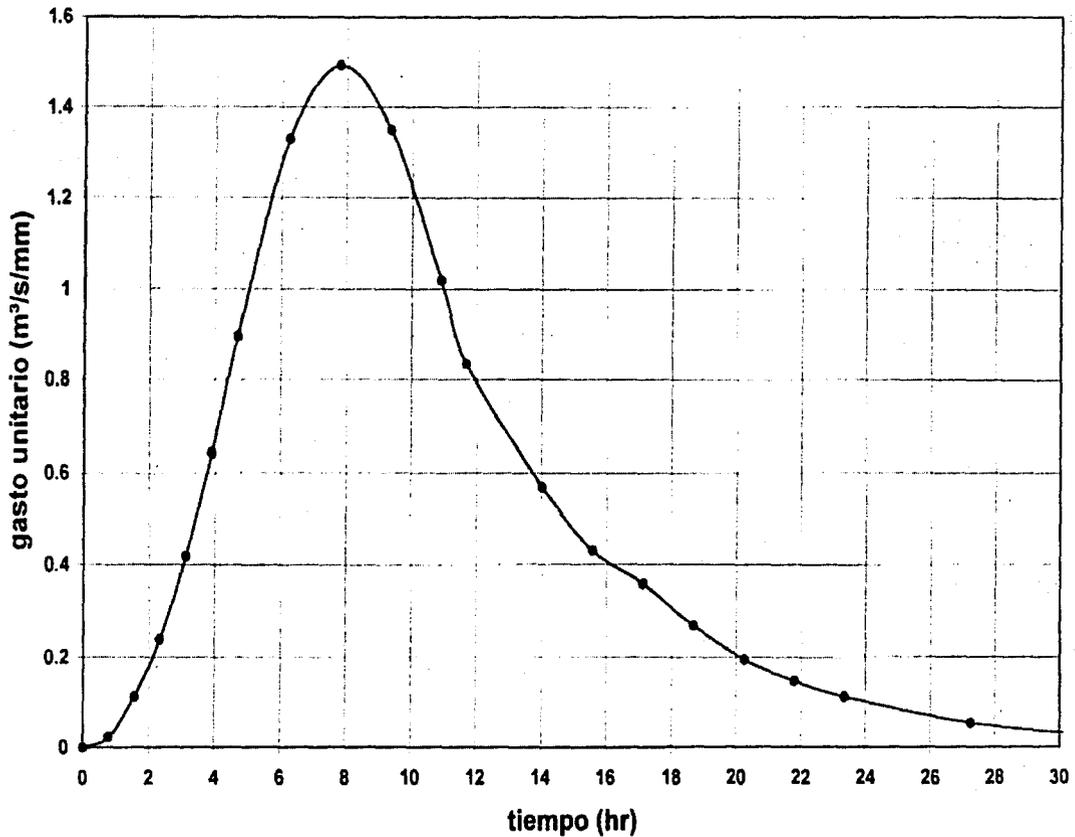
Pendiente (s) = 0.00132
 Área (A) = 55 88 km²
 Longitud (L) = 15.637 km

T. conc (tc) = 7.077 hr
 D. exceso (de) = 7.077 hr
 T. retraso (tr) = 4.246 hr

Tiempo pico (tp) = 7.78 hr
 Gasto pico (qp) = 1.49 m³/s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	0.8	0.0
0.2	0.075	1.6	0.1
0.3	0.16	2.3	0.2
0.4	0.28	3.1	0.4
0.5	0.43	3.9	0.6
0.6	0.6	4.7	0.9
0.8	0.89	6.2	1.3
1	1	7.8	1.5
1.2	0.92	9.3	1.4
1.4	0.75	10.9	1.1
1.5	0.56	11.7	0.8
1.8	0.42	14.0	0.6
2	0.32	15.6	0.5
2.2	0.24	17.1	0.4
2.4	0.18	18.7	0.3
2.6	0.13	20.2	0.2
2.8	0.098	21.8	0.1
3	0.075	23.4	0.1
3.5	0.036	27.2	0.1
4	0.018	31.1	0.0
4.5	0.009	35.0	0.0
5	0.004	38.9	0.0

Hidrograma Unitario: Río Chichihual



Hidrograma Unitario Adimensional: RÍO 3

Cota Inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	S ²	(S ²) ^{1/2}	L ³ /((S ²) ^{1/2})
51	40	2216	2.22	0.00496	0.07045	31452.73
40	30	3442	3.44	0.00291	0.05390	63858.15
30	20	3171	3.17	0.00315	0.05616	56466.95
20	10	2565	2.57	0.00390	0.06244	41080.06
10	5	3135	3.14	0.00159	0.03994	78500.30
SUMA =		14529	14.53			271358.18

Pendiente (s) = 0.00287

Área (A) = 39.04 km²

Longitud (L) = 14.529 km

T conc. (tc) = 4.963 hr

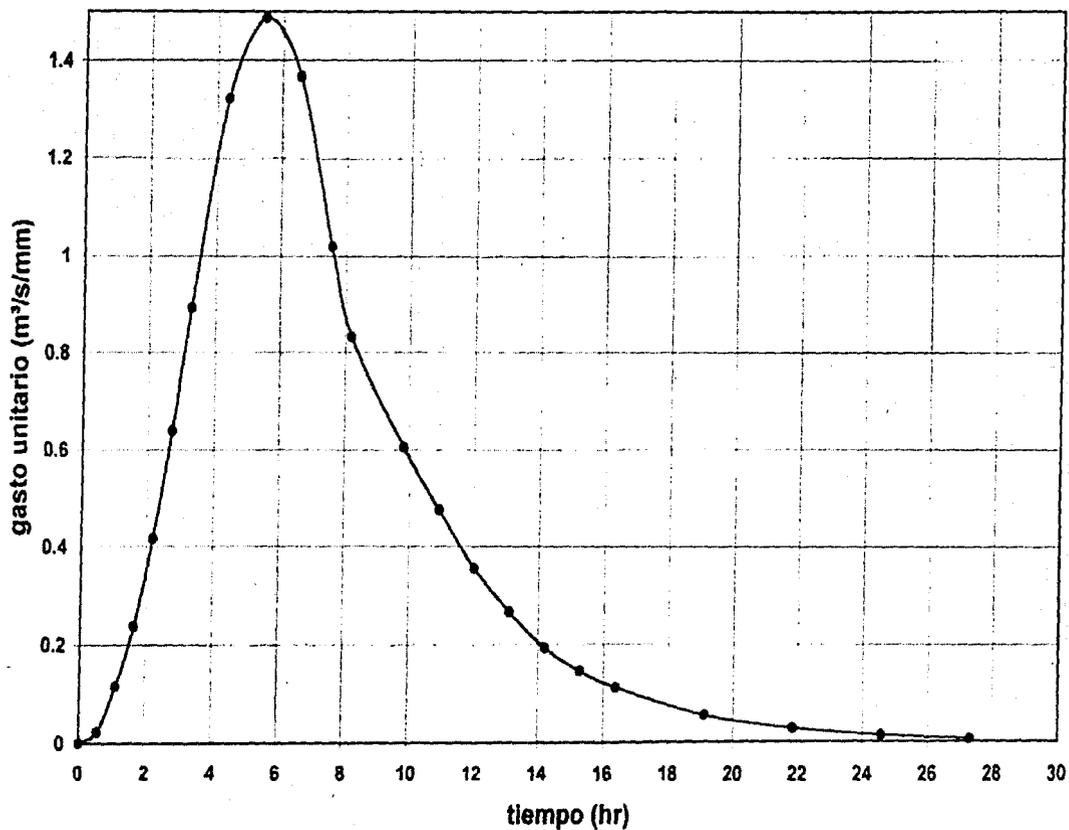
D exceso (de) = 4.963 hr

T retraso (tr) = 2.978 hr

Tiempo pico (tp) =	5.46	hr
Gasto pico (qp) =	1.49	m ³ /s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	0.5	0.0
0.2	0.075	1.1	0.1
0.3	0.16	1.6	0.2
0.4	0.28	2.2	0.4
0.5	0.43	2.7	0.6
0.6	0.6	3.3	0.9
0.8	0.89	4.4	1.3
1	1	5.5	1.5
1.2	0.92	6.6	1.4
1.4	0.75	7.6	1.1
1.5	0.56	8.2	0.8
1.8	0.42	9.8	0.6
2	0.32	10.9	0.5
2.2	0.24	12.0	0.4
2.4	0.18	13.1	0.3
2.6	0.13	14.2	0.2
2.8	0.098	15.3	0.1
3	0.075	16.4	0.1
3.5	0.036	19.1	0.1
4	0.018	21.8	0.0
4.5	0.009	24.6	0.0
5	0.004	27.3	0.0

Hidrograma Unitario: Río 3



Hidrograma Unitario Adimensional: RÍO 4

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si) ^{1/2}	Li/(Si) ^{1/2}
32	20	2431	2.431	0.00494	0.07026	34600.85
20	10	2362	2.362	0.00423	0.06507	36301.10
10	6	3281	3.281	0.00122	0.03492	93967.86
SUMA =		8074	8.074			164869.82

Pendiente (s) = 0.00240

Area (A) = 19.41 km²

Longitud (L) = 8.074 km

T conc. (tc) = 3.381 hr

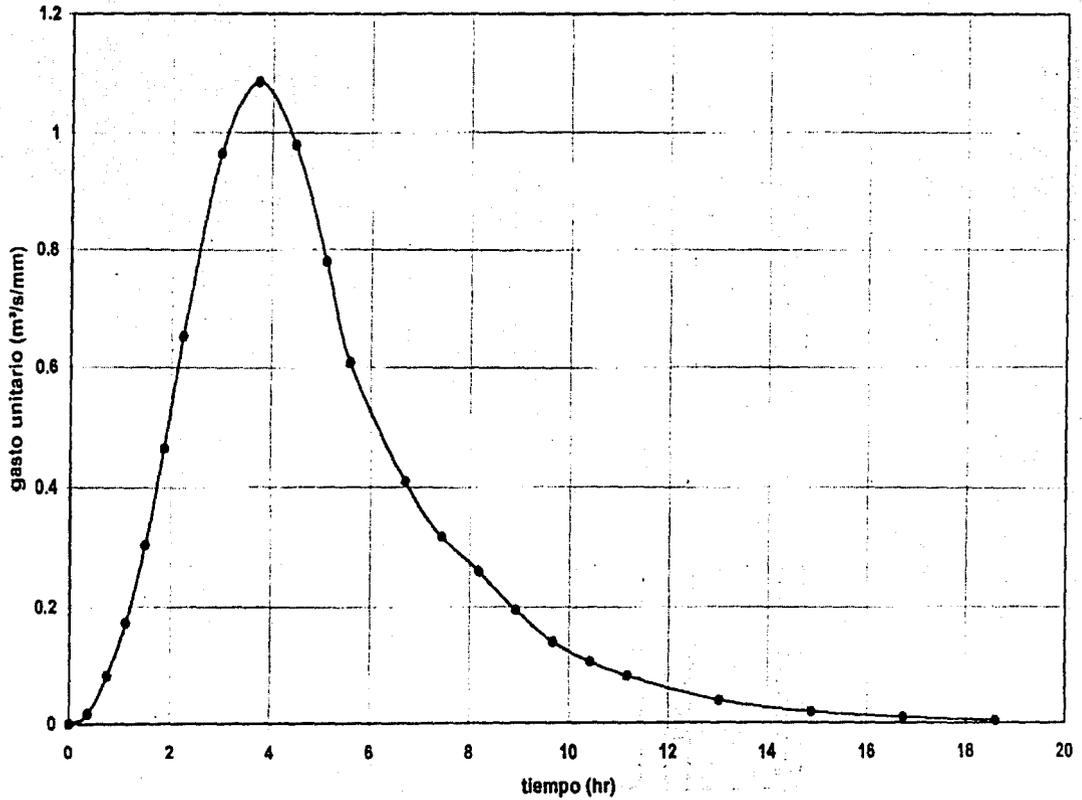
D. exceso (de) = 3.381 hr

T. retraso (tr) = 2.029 hr

Tiempo pico (tp) =	3.72	hr
Qasto pico (qp) =	1.09	m ³ /s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	0.4	0.0
0.2	0.075	0.7	0.1
0.3	0.16	1.1	0.2
0.4	0.28	1.5	0.3
0.5	0.43	1.9	0.5
0.6	0.6	2.2	0.7
0.8	0.89	3.0	1.0
1	1	3.7	1.1
1.2	0.92	4.5	1.0
1.4	0.75	5.2	0.8
1.5	0.56	5.6	0.6
1.8	0.42	6.7	0.5
2	0.32	7.4	0.3
2.2	0.24	8.2	0.3
2.4	0.18	8.9	0.2
2.6	0.13	9.7	0.1
2.8	0.098	10.4	0.1
3	0.075	11.2	0.1
3.5	0.036	13.0	0.0
4	0.018	14.9	0.0
4.5	0.009	16.7	0.0
5	0.004	18.6	0.0

Hidrograma Unitario: Río 4



174

Hidrograma Unitario Adimensional: RÍO TECOXTEPA

Cota Inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	SI	(SI) ^{1/2}	LV((SI) ^{1/2}
75	60	2110	2.11	0.00711	0.08431	25025.23
60	40	2215	2.22	0.00903	0.09502	23310.18
40	30	4360	4.36	0.00229	0.04789	91039.47
30	20	4153	4.15	0.00241	0.04907	84633.62
20	10	3776	3.78	0.00265	0.05146	73374.98
10	5	1611	1.61	0.00310	0.05571	28917.34
5	1	5341	5.34	0.00075	0.02737	195165.87
SUMA =		23566	23.57			521466.68

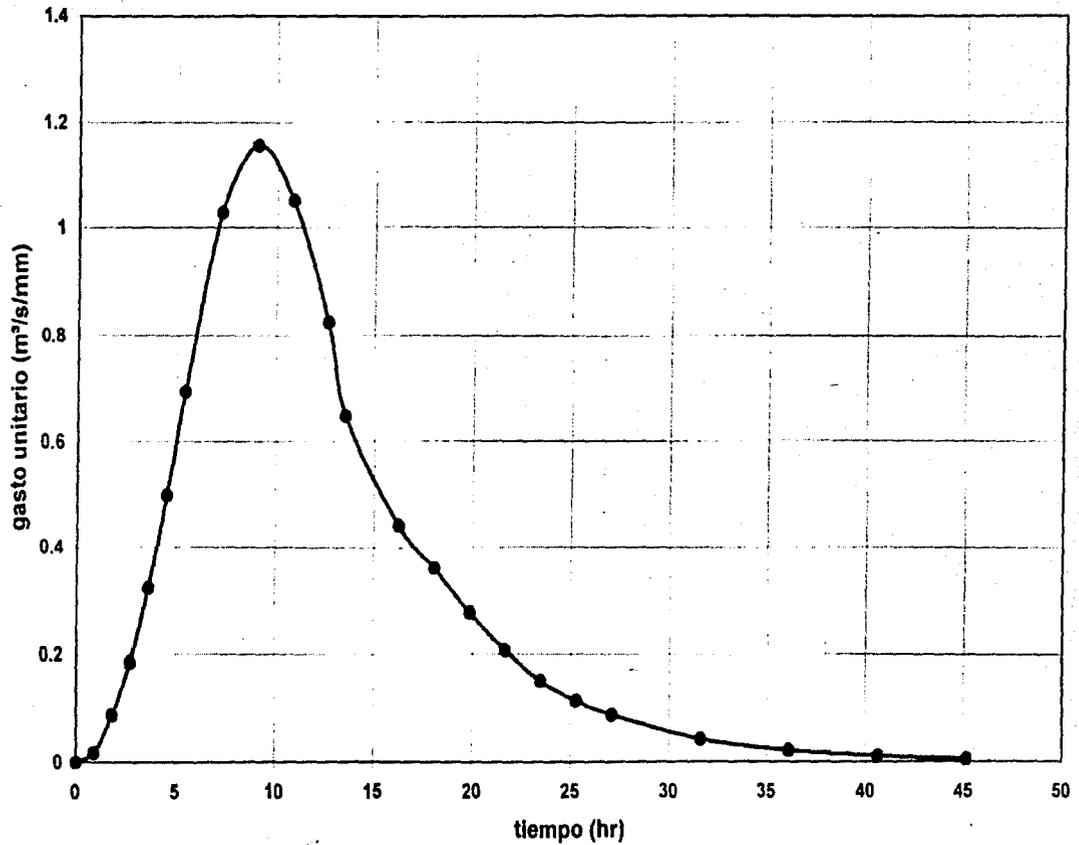
Pendiente (s) =	0.00204
Área (A) =	50.13 km ²
Longitud (L) =	23.566 km

T. conc. (tc)=	8.206	hr
D. exceso (de)=	8.206	hr
T. retraso (tr)=	4.924	hr

Tiempo pico (tp)=	9.03	hr
Gasto pico (qp)=	1.16	m ³ /s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	0.9	0.0
0.2	0.075	1.8	0.1
0.3	0.16	2.7	0.2
0.4	0.28	3.6	0.3
0.5	0.43	4.5	0.5
0.6	0.6	5.4	0.7
0.8	0.89	7.2	1.0
1	1	9.0	1.2
1.2	0.92	10.8	1.1
1.4	0.75	12.6	0.9
1.5	0.56	13.5	0.6
1.8	0.42	16.2	0.5
2	0.32	18.1	0.4
2.2	0.24	19.9	0.3
2.4	0.18	21.7	0.2
2.6	0.13	23.5	0.2
2.8	0.098	25.3	0.1
3	0.075	27.1	0.1
3.5	0.036	31.6	0.0
4	0.018	36.1	0.0
4.5	0.009	40.6	0.0
5	0.004	45.1	0.0

Hidrograma Unitario: Río Tecoxtempa



Hidrograma Unitario Adimensional: ESTERO DEL IDOLO

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si) ^{1/2}	Lij(Si) ^{1/2}
72	70	7254	7.25	0.00028	0.01660	436869.10
70	65	5070	5.07	0.00099	0.03140	161445.87
65	60	3040	3.04	0.00164	0.04056	74959.27
50	45	3501	3.50	0.00143	0.03779	92640.98
45	40	1774	1.77	0.00282	0.05309	33415.30
40	30	3306	3.31	0.00302	0.05500	60111.04
30	20	3491	3.49	0.00286	0.05352	65226.60
20	10	3265	3.27	0.00306	0.05534	58996.30
10	7	2740	2.74	0.00109	0.03309	82806.65
SUMA =		33441	33.44			1066471.13

Pendiente (s) = 0.00098

Área (A) = 166.66 km²

Longitud (L) = 33.441 km

T. conc. (tc) = 14.237 hr

D. exceso (de) = 14.237 hr

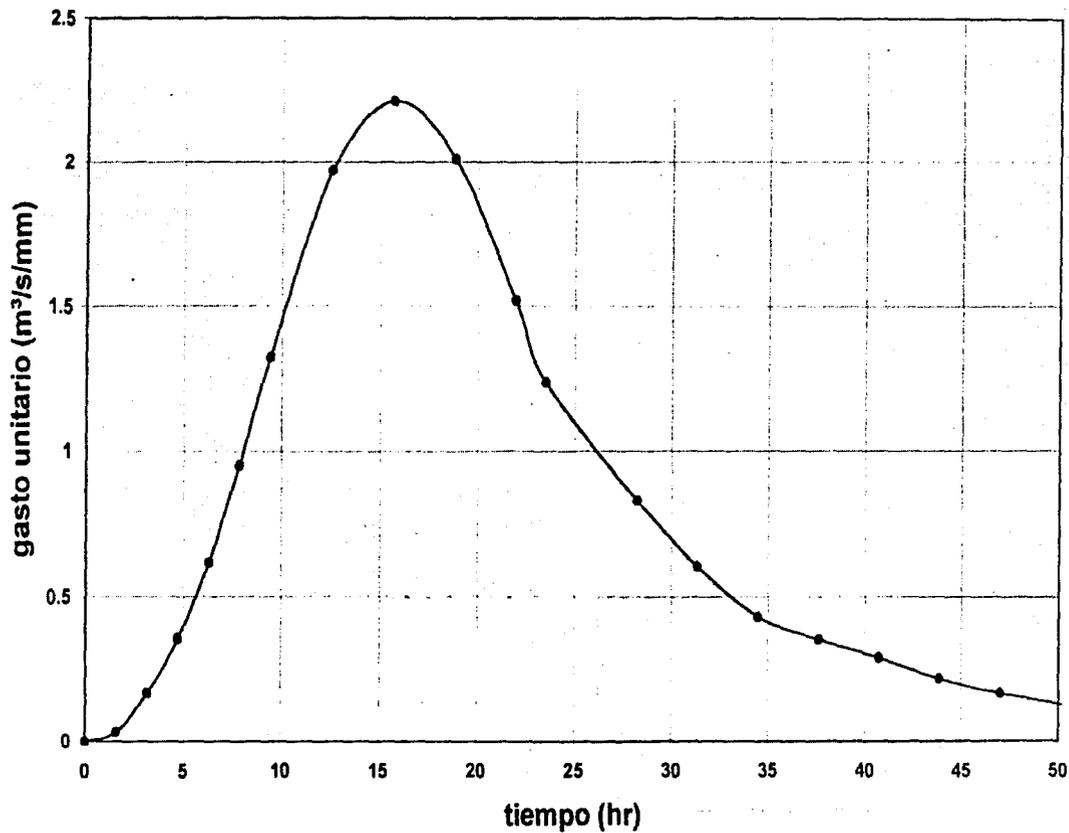
T. retraso (tr) = 8.542 hr

Tiempo pico (tp) = 15.66 hr

Gasto pico (qp) = 2.21 m³/s/mm

t/tp	q/qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	1.6	0.0
0.2	0.075	3.1	0.2
0.3	0.16	4.7	0.4
0.4	0.28	6.3	0.6
0.5	0.43	7.8	1.0
0.6	0.6	9.4	1.3
0.8	0.89	12.5	2.0
1	1	15.7	2.2
1.2	0.92	18.8	2.0
1.4	0.75	21.9	1.7
1.5	0.56	23.5	1.2
1.8	0.42	28.2	0.9
2	0.32	31.3	0.7
2.2	0.24	34.5	0.5
2.4	0.18	37.6	0.4
2.6	0.13	40.7	0.3
2.8	0.098	43.8	0.2
3	0.075	47.0	0.2
3.5	0.036	54.8	0.1
4	0.018	62.6	0.0
4.5	0.009	70.5	0.0
5	0.004	78.3	0.0

Hidrograma Unitario: **Estero del Idolo**



Hidrograma Unitario Adimensional: TRAMO RÍO TUXPAN

Cota inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si) ^{1/2}	Li/(Si) ^{1/2}
8	7	7470	7.47	0.00013	0.01157	645625.84
7	6	16832	16.83	0.00006	0.00771	2183753.35
6	5	5368	5.37	0.00019	0.01365	393295.30
5	4	7355	7.36	0.00014	0.01166	630774.34
4	3	8771	8.77	0.00011	0.01068	821435.88
3	2	10300	10.30	0.00010	0.00985	1045335.83
2	1	5966	5.97	0.00017	0.01295	460813.16
1	0	5572	5.57	0.00018	0.01340	415928.65
SUMA =		67634	67.634			6596962.34

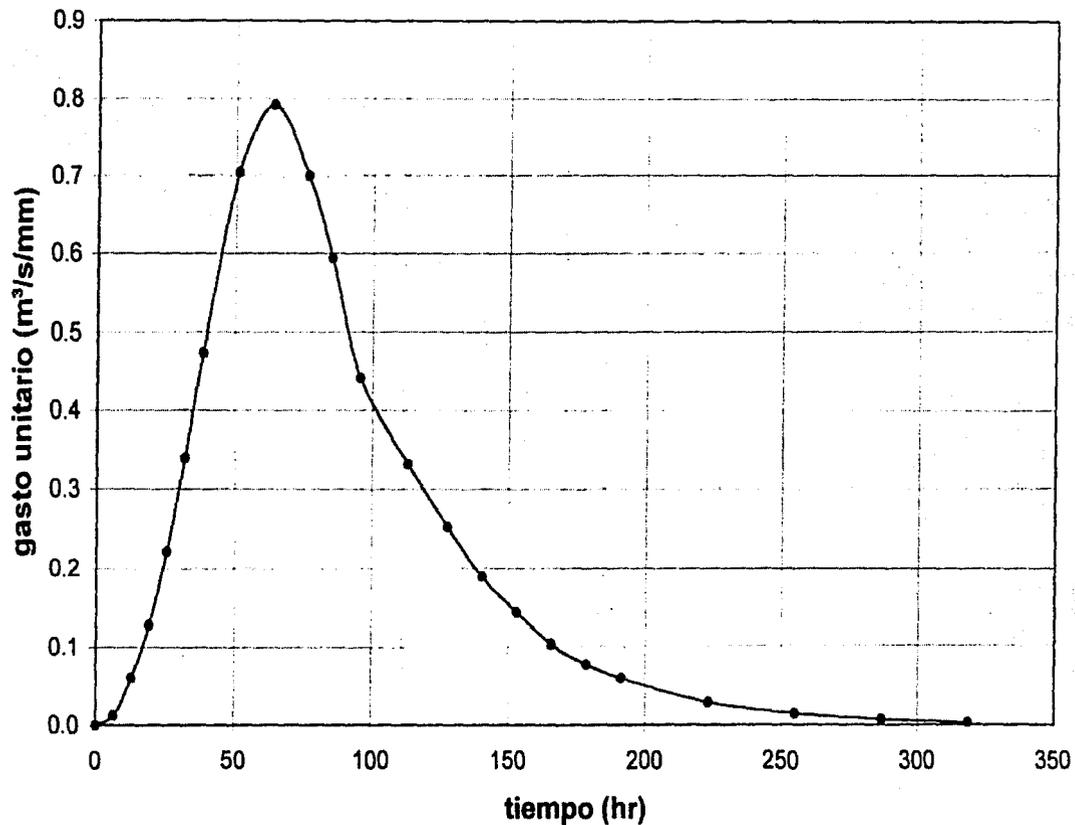
Pendiente (s) =	0.00011	
Área (A) =	242.37	km ²
Longitud (L) =	67.634	km

T. conc. (tc) =	57.913	hr
D. exceso (de) =	57.913	hr
T. rebaso (tr) =	34.748	hr

Tiempo pico (tp) =	63.70	hr
Gasto pico (qp) =	0.79	m ³ /s/mm

t / tp	q / qu	t (hr)	q (m ³ /s/mm)
0	0	0.0	0.0
0.1	0.015	6.4	0.0
0.2	0.075	12.7	0.1
0.3	0.16	19.1	0.1
0.4	0.28	25.5	0.2
0.5	0.43	31.9	0.3
0.6	0.6	38.2	0.5
0.8	0.89	51.0	0.7
1	1	63.7	0.8
1.2	0.92	76.4	0.7
1.4	0.75	85.2	0.6
1.5	0.56	95.6	0.4
1.8	0.42	113.0	0.3
2	0.32	127.4	0.3
2.2	0.24	140.2	0.2
2.4	0.18	152.9	0.1
2.6	0.13	165.6	0.1
2.8	0.098	178.4	0.1
3	0.075	191.1	0.1
3.5	0.036	223.0	0.0
4	0.018	254.8	0.0
4.5	0.009	286.7	0.0
5	0.004	318.5	0.0

Hidrograma Unitario: Tramo Río Tuxpan



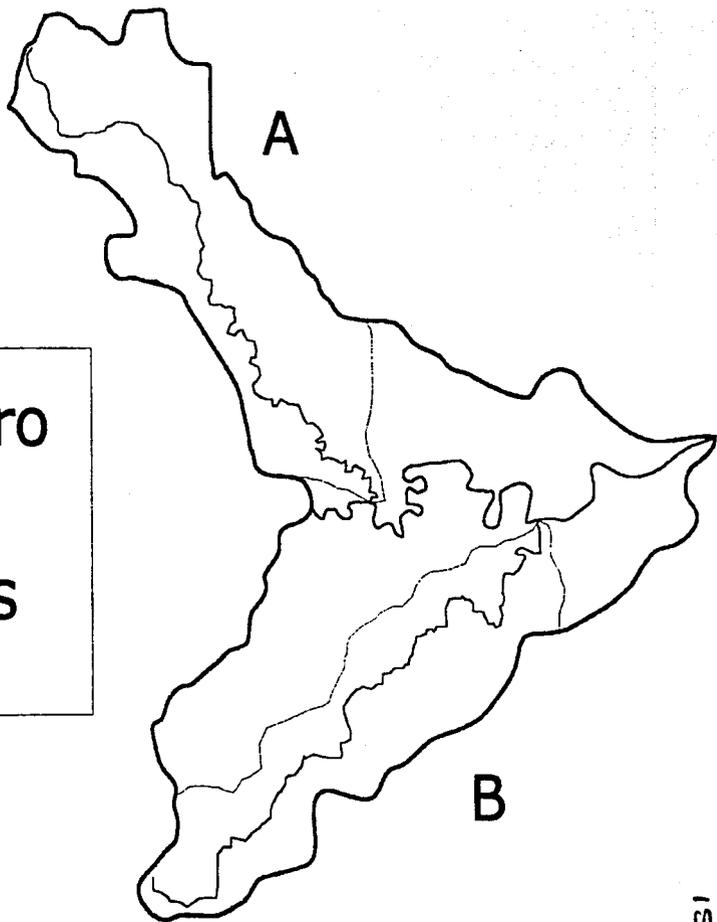
Anexo C

Desarrollo del procedimiento 2

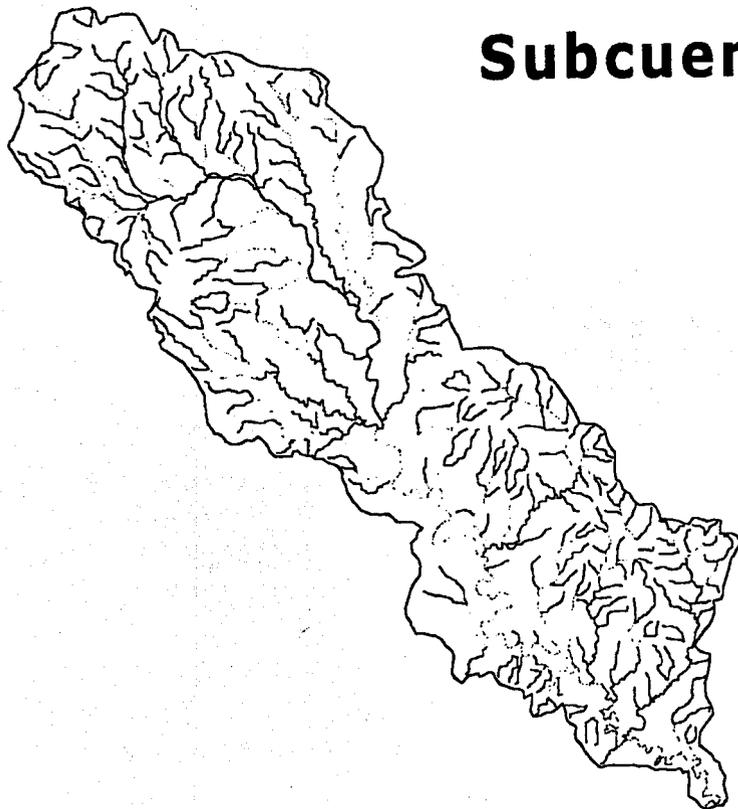
**Hidrograma Unitario Geomorfológico para
la subcuenca del Río Tuxpan**

A Río Potrero

B Río Cañas



Subcuenca Río Potrero



SIMBOLOGÍA

Corriente Orden 1



Corriente Orden 2



Corriente Orden 3



Corriente Orden 4



Corriente Orden 5



CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE
Orden	Número	(km)	CONTRIBUCIÓN
			(km ²)
1	1	1.14	0.72
1	2	1.17	0.86
1	3	1.61	1.00
1	4	1.12	0.53
1	5	1.00	0.34
1	6	1.02	0.55
1	7	0.58	0.23
1	8	1.13	0.54
1	9	1.40	0.75
1	10	1.02	0.37
1	11	0.53	0.38
1	12	0.95	0.37
1	13	1.34	0.42
1	14	1.29	0.48
1	15	1.51	0.73
1	16	1.86	1.72
1	17	2.14	2.17
1	18	2.16	2.16
1	19	2.51	1.90
1	20	0.79	0.30
1	21	1.76	0.94
1	22	1.76	0.86
1	23	0.72	0.33
1	24	1.16	0.55
1	25	2.48	2.28
1	26	1.56	1.89
1	27	2.67	2.25
1	28	1.69	1.06
1	29	0.77	0.30
1	30	0.76	0.64
1	31	3.70	2.19
1	32	2.80	1.58
1	33	1.08	0.66
1	34	2.07	1.30
1	35	1.01	0.73
1	36	1.93	0.72
1	37	2.19	1.25
1	38	2.34	1.48
1	39	0.71	0.41
1	40	1.99	1.31
1	41	0.83	0.94
1	42	1.71	0.68
1	43	3.35	1.58
1	44	0.72	0.47
1	45	2.78	1.47
1	46	2.81	1.61
1	47	1.80	0.94
1	48	1.78	1.01
1	49	2.88	1.88
1	50	0.90	0.51
1	51	2.56	2.19
1	52	2.36	2.11
1	53	2.43	1.35

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE
Orden	Número	(km)	CONTRIBUCIÓN
			(km ²)
1	54	1.07	1.23
1	55	1.71	2.09
1	56	2.61	1.92
1	57	0.89	0.90
1	58	0.75	0.55
1	59	0.83	0.57
1	60	0.90	0.26
1	61	0.47	0.23
1	62	2.46	1.59
1	63	1.60	1.05
1	64	1.18	0.60
1	65	2.04	0.95
1	66	2.31	1.25
1	67	2.01	2.24
1	68	2.35	1.83
1	69	1.79	1.04
1	70	1.50	0.94
1	71	1.28	0.76
1	72	0.93	0.61
1	73	2.13	1.07
1	74	1.46	0.77
1	75	1.90	1.13
1	76	1.28	0.62
1	77	1.90	1.44
1	78	2.20	1.12
1	79	1.00	0.70
1	80	1.30	0.72
1	81	0.99	0.71
1	82	0.64	0.38
1	83	1.23	1.00
1	84	0.88	0.56
1	85	0.73	0.37
1	86	0.75	0.42
1	87	0.67	0.31
1	88	1.33	0.94
1	89	1.21	0.69
1	90	0.72	0.55
1	91	1.24	0.72
1	92	0.81	0.45
1	93	1.37	1.10
1	94	1.65	1.33
1	95	1.32	1.04
1	96	2.87	1.35
1	97	3.80	2.55
1	98	3.90	2.59
1	99	2.74	1.91
1	100	1.04	0.66
1	101	2.27	1.13
1	102	2.88	1.49
1	103	0.98	0.52
1	104	1.39	0.80
1	105	1.25	1.07
1	106	2.05	1.37

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	107	2.07	1.14
1	108	2.64	1.85
1	109	1.74	1.46
1	110	0.64	0.48
1	111	0.87	0.51
1	112	0.92	0.43
1	113	1.42	1.00
1	114	1.07	0.79
1	115	1.84	1.23
1	116	1.33	1.15
1	117	1.99	1.04
1	118	1.00	0.75
1	119	2.28	2.07
1	120	1.40	1.18
1	121	0.75	0.54
1	122	0.96	0.57
1	123	1.56	0.79
1	124	1.94	1.17
1	125	0.99	1.04
1	126	2.13	1.05
1	127	1.93	1.04
1	128	1.30	0.46
1	129	2.77	1.29
1	130	1.35	0.45
1	131	0.89	0.36
1	132	1.24	0.75
1	133	1.14	0.73
1	134	2.11	0.95
1	135	2.66	1.66
1	136	0.90	0.46
1	137	3.44	2.09
1	138	1.81	0.78
1	139	1.21	0.51
1	140	0.81	0.41
1	141	1.07	0.54
1	142	3.21	1.52
1	143	2.70	1.32
1	144	0.88	0.47
1	145	1.69	0.69
1	146	1.40	0.77
1	147	1.24	0.77
1	148	2.35	1.40
1	149	0.94	0.42
1	150	1.34	0.88
1	151	1.36	0.87
1	152	0.83	0.97
1	153	1.55	1.77
1	154	1.05	0.74
1	155	0.67	0.64
1	156	1.82	1.19
1	157	0.99	0.56
1	158	1.08	0.41
1	159	0.80	0.49
1	160	1.48	0.69

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	161	0.87	0.52
1	162	1.11	0.37
1	163	1.40	0.54
1	164	0.74	0.38
1	165	0.86	0.42
1	166	0.71	0.39
1	167	1.32	0.75
1	168	1.24	0.75
1	169	2.50	2.37
1	170	1.15	0.50
1	171	0.75	0.40
1	172	0.65	0.30
1	173	1.73	1.43
1	174	1.24	0.89
1	175	0.98	0.46
1	176	0.98	0.32
1	177	2.14	1.20
1	178	1.51	0.75
1	179	1.53	0.97
1	180	1.45	0.59
1	181	0.92	0.36
1	182	1.53	0.78
1	183	0.57	0.21
1	184	0.74	0.46
1	185	0.67	0.48
1	186	0.67	0.28
1	187	1.20	0.61
1	188	1.21	0.76
1	189	0.74	0.34
1	190	1.52	0.64
1	191	0.72	0.41
1	192	1.10	0.63
1	193	1.72	1.11
1	194	0.85	0.45
1	195	0.64	0.34
1	196	1.41	0.58
1	197	0.68	0.37
1	198	0.94	0.42
1	199	0.99	0.55
1	200	0.78	0.26
1	201	1.93	0.68
1	202	2.10	1.06
1	203	2.10	1.38
1	204	1.09	0.61
1	205	2.31	1.39
1	206	0.84	0.44
1	207	1.19	0.49
1	208	1.09	0.56
1	209	1.42	0.77
1	210	2.05	1.00
1	211	1.76	0.83
1	212	0.84	0.56
1	213	1.44	0.71
1	214	2.56	1.46

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	215	0.67	0.35
1	216	1.06	0.62
1	217	1.62	0.75
1	218	0.93	0.61
1	219	0.89	0.55
1	220	0.97	0.55
1	221	0.70	0.33
1	222	1.24	0.53
1	223	0.90	0.51
1	224	0.89	0.43
1	225	0.90	0.39
1	226	0.81	0.55
1	227	1.81	1.05
1	228	0.77	0.49
1	229	0.71	0.24
1	230	0.90	0.37
1	231	0.94	0.39
1	232	3.09	2.18
1	233	2.14	1.27
1	234	0.84	0.33
1	235	1.03	0.44
2	1	2.23	2.13
2	2	2.18	1.52
2	3	3.46	2.43
2	4	3.48	2.77
2	5	1.79	1.75
2	6	5.53	11.91
2	7	3.93	4.11
2	8	7.78	11.12
2	9	2.07	1.71
2	10	6.54	4.68
2	11	6.79	6.09
2	12	7.73	8.85
2	13	3.04	2.87
2	14	5.02	3.59
2	15	7.37	7.91
2	16	6.45	5.72
2	17	4.06	6.18
2	18	3.08	2.75
2	19	1.93	1.74
2	20	2.14	1.17
2	21	4.80	3.93
2	22	2.45	1.91
2	23	8.38	13.07
2	24	1.55	1.76
2	25	2.31	2.41
2	26	5.79	3.97
2	27	5.51	5.95
2	28	4.77	4.32
2	29	3.89	3.99
2	30	7.83	7.11

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
2	31	12.54	16.08
2	32	7.97	10.13
2	33	4.05	4.97
2	34	2.79	2.48
2	35	3.80	3.01
2	36	5.01	6.20
2	37	4.35	4.39
2	38	5.94	7.15
2	39	5.79	5.04
2	40	7.76	15.89
2	41	2.38	2.66
2	42	1.94	1.59
2	43	8.58	10.50
2	44	3.96	2.56
2	45	3.76	3.07
2	46	6.69	8.39
2	47	3.72	2.67
2	48	1.85	1.43
2	49	2.59	2.66
2	50	2.57	2.57
2	51	3.27	3.49
2	52	4.73	4.51
2	53	1.89	1.14
3	1	10.67	15.24
3	2	14.84	17.15
3	3	12.71	17.18
3	4	10.82	32.50
3	5	10.67	20.56
3	6	10.70	25.50
3	7	18.02	39.14
3	8	8.10	18.20
3	9	21.23	44.20
3	10	12.74	20.13
3	11	7.36	7.81
3	12	15.93	25.95
4	1	16.41	50.44
4	2	31.73	194.07
5	1	80.05	442.64

Order (u)	N (u)	log (Nu)	(u) ^a	(u) ^a log (Nu)
1	235	2.371	1	2.371
2	53	1.724	4	3.449
3	12	1.079	9	3.238
4	2	0.301	16	1.204
5	1	0.000	25	0.000
15		5.476	55	10.261

a = 2.945
b = -0.617

RB = 4.136

Order (u)	A (u)	A (u) / N (u)	log (Au)	(u) ^a	(u) ^a log (Au)
1	208.68	0.888	-0.052	1	-0.052
2	262.00	4.943	0.694	4	1.388
3	283.56	23.630	1.373	9	4.120
4	244.51	122.255	2.087	16	8.349
5	442.64	442.640	2.646	25	13.230
15			6.749	55	27.036

a = -0.687
b = 0.679

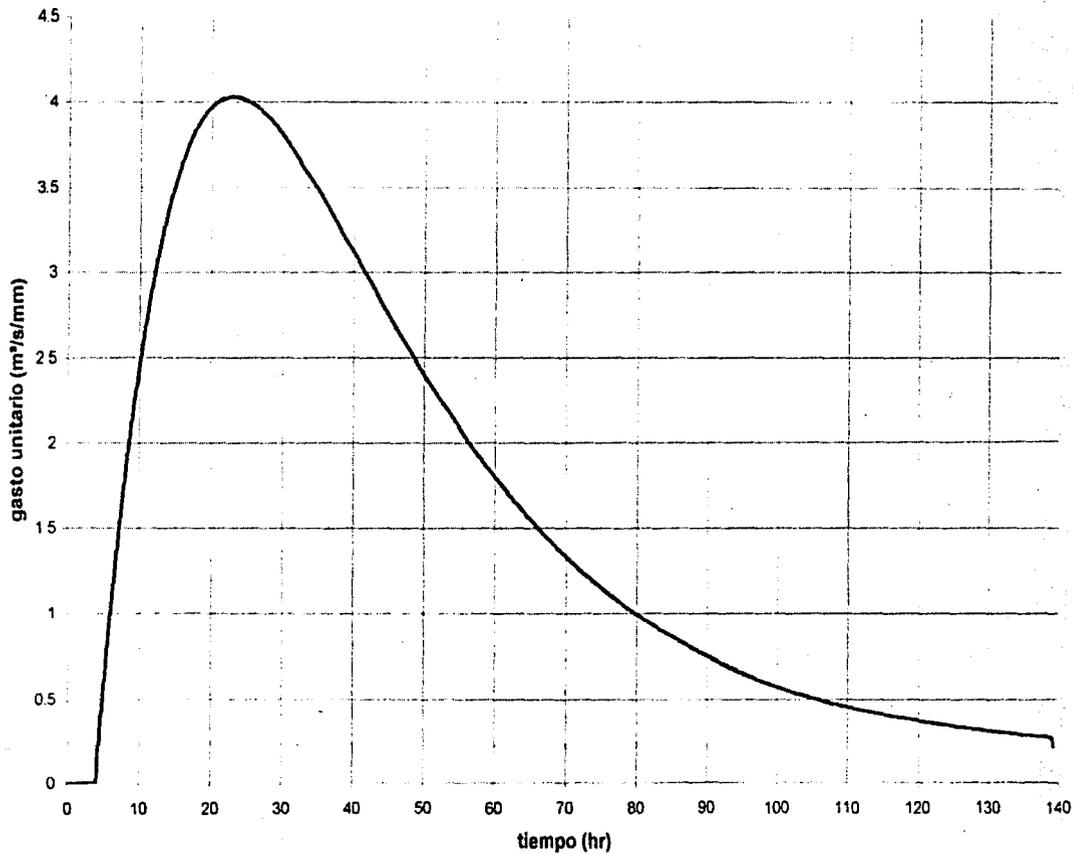
RA = 4.774

Order (u)	L (u)	L (u) / N (u)	log (Lu)	(u) ^a	(u) ^a log (Lu)
1	343.43	80706.050	2.536	1	2.536
2	241.81	12815.930	2.383	4	4.767
3	153.79	1845.480	2.187	9	6.561
4	48.14	96.280	1.683	16	6.730
5	80.05	80.050	1.903	25	9.517
15			10.692	55	30.110

a = 2.728
b = -0.197

RL = 1.573

Hidrograma Unitario: Río Potrero



SIMBOLOGÍA

Corriente Orden 1



Corriente Orden 2



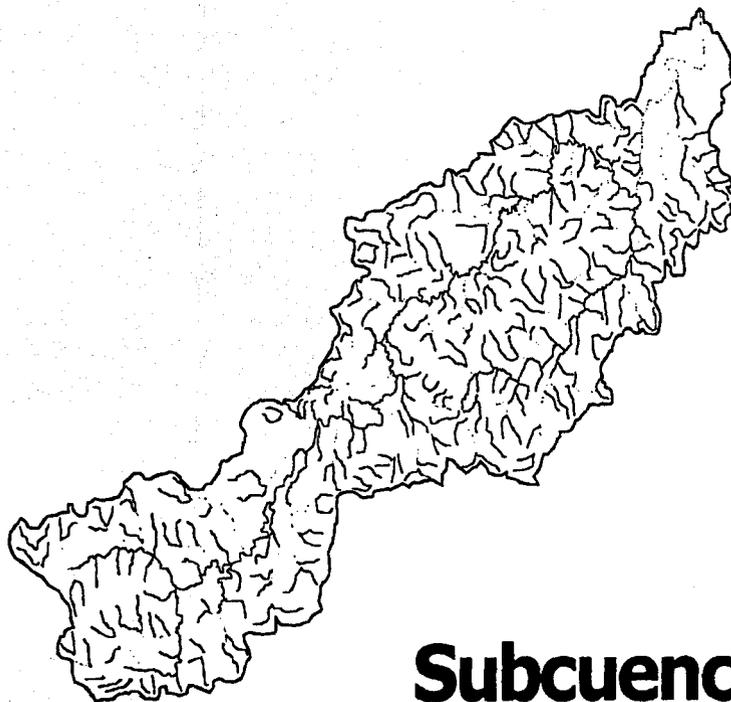
Corriente Orden 3



Corriente Orden 4



Corriente Orden 5



Subcuenca Río Cañas

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCION
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	1	1.70	1.05
1	2	1.51	0.62
1	3	1.52	0.54
1	4	0.72	0.25
1	5	1.29	0.58
1	6	1.54	0.59
1	7	0.82	0.43
1	8	0.89	0.60
1	9	1.18	0.75
1	10	2.87	1.53
1	11	2.19	0.95
1	12	0.91	0.39
1	13	1.05	0.48
1	14	1.79	0.90
1	15	1.69	1.36
1	16	1.32	0.63
1	17	1.21	0.63
1	18	1.22	0.58
1	19	1.05	0.53
1	20	1.36	0.78
1	21	1.32	0.59
1	22	0.95	0.36
1	23	0.95	0.46
1	24	0.92	0.27
1	25	1.36	0.57
1	26	1.48	0.67
1	27	1.36	0.76
1	28	1.21	0.59
1	29	1.28	0.92
1	30	1.01	0.54
1	31	1.70	1.33
1	32	1.15	0.63
1	33	1.72	1.19
1	34	2.54	1.57
1	35	2.14	1.20
1	36	1.91	0.95
1	37	0.57	0.25
1	38	1.89	1.41
1	39	1.65	0.96
1	40	1.66	1.19
1	41	1.72	1.00
1	42	1.44	0.73
1	43	0.86	0.39
1	44	0.88	0.37
1	45	1.06	0.54
1	46	1.77	1.39
1	47	2.01	1.44
1	48	2.01	1.36
1	49	1.26	0.48
1	50	1.26	0.77
1	51	1.12	0.95
1	52	1.51	1.17

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCION
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	53	1.14	0.64
1	54	0.61	0.39
1	55	0.85	0.64
1	56	0.59	0.31
1	57	1.40	0.70
1	58	1.72	1.04
1	59	1.20	0.56
1	60	1.06	0.64
1	61	0.58	0.26
1	62	0.97	0.56
1	63	1.14	0.76
1	64	1.03	0.72
1	65	2.16	1.29
1	66	1.70	1.18
1	67	1.65	0.82
1	68	1.60	0.94
1	69	0.92	0.55
1	70	0.93	0.45
1	71	1.06	0.73
1	72	1.09	0.40
1	73	1.19	0.83
1	74	1.51	1.08
1	75	1.16	0.74
1	76	0.77	0.33
1	77	0.80	0.42
1	78	2.38	1.80
1	79	1.29	0.68
1	80	0.93	0.74
1	81	1.58	1.33
1	82	0.76	0.39
1	83	1.22	0.42
1	84	1.62	0.91
1	85	1.13	0.92
1	86	1.60	0.93
1	87	2.06	1.45
1	88	0.83	0.29
1	89	0.98	0.42
1	90	0.72	0.39
1	91	0.95	0.56
1	92	0.85	0.41
1	93	1.05	0.71
1	94	1.30	0.84
1	95	1.51	1.07
1	96	1.32	0.71
1	97	0.76	0.29
1	98	0.62	0.42
1	99	0.86	0.51
1	100	1.43	0.71
1	101	1.53	1.05
1	102	1.00	0.48
1	103	0.65	0.54
1	104	0.81	0.39

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	105	1.12	0.68
1	106	0.50	0.42
1	107	1.46	0.79
1	108	2.35	1.02
1	109	1.50	1.06
1	110	1.43	1.40
1	111	1.16	0.64
1	112	1.06	0.50
1	113	1.20	0.52
1	114	0.78	0.32
1	115	0.53	0.29
1	116	0.67	0.48
1	117	0.77	0.73
1	118	0.98	0.46
1	119	1.02	0.57
1	120	0.77	0.79
1	121	0.69	0.38
1	122	1.53	1.14
1	123	2.52	2.30
1	124	1.03	0.51
1	125	0.74	0.30
1	126	1.31	0.77
1	127	0.81	0.28
1	128	1.06	0.61
1	129	0.79	0.42
1	130	1.13	0.98
1	131	0.90	0.41
1	132	0.96	0.42
1	133	0.85	0.46
1	134	1.07	0.50
1	135	0.77	0.41
1	136	0.75	0.34
1	137	1.32	0.66
1	138	1.07	0.49
1	139	1.09	0.65
1	140	1.48	1.06
1	141	1.61	1.13
1	142	1.52	0.83
1	143	1.47	0.69
1	144	0.95	0.47
1	145	1.69	0.93
1	146	0.97	0.51
1	147	1.39	1.07
1	148	1.43	1.07
1	149	1.39	0.92
1	150	1.23	0.97
1	151	1.19	1.12
1	152	1.52	1.86
1	153	1.87	1.84
1	154	1.57	1.35
1	155	1.02	0.80
1	156	1.45	0.74
1	157	2.01	0.93

CORRIENTE		LONGITUD	ÁREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	158	1.32	0.79
1	159	1.82	1.52
1	160	1.55	0.86
1	161	1.69	1.73
1	162	1.36	1.10
1	163	0.69	0.89
1	164	0.92	0.54
1	165	0.89	0.70
1	166	0.71	0.35
1	167	0.81	0.61
1	168	0.79	0.42
1	169	0.79	0.35
1	170	1.56	0.79
1	171	1.29	0.59
1	172	1.07	0.58
1	173	0.83	0.50
1	174	1.00	0.61
1	175	1.34	0.94
1	176	1.72	0.96
1	177	1.19	0.78
1	178	1.40	1.18
1	179	1.43	1.13
1	180	1.13	0.62
1	181	2.30	2.47
1	182	1.88	1.76
1	183	1.09	0.60
1	184	1.15	0.77
1	185	1.97	1.37
1	186	1.24	0.88
1	187	1.03	0.70
1	188	1.07	0.73
1	189	1.25	0.81
1	190	1.33	0.84
1	191	1.63	1.12
1	192	1.49	1.28
1	193	1.54	1.16
1	194	1.43	0.97
1	195	1.12	0.80
1	196	0.96	0.57
1	197	1.27	1.10
1	198	1.07	0.84
1	199	1.25	0.90
1	200	0.95	0.63
1	201	1.65	1.07
1	202	1.16	0.75
1	203	1.23	0.57
1	204	1.98	0.93
1	205	1.43	0.92
1	206	1.69	1.28
1	207	1.35	0.91
1	208	1.29	0.76
1	209	1.95	1.42
1	210	0.86	0.65

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	211	1 98	2 78
1	212	1 49	1 14
1	213	1 94	1 53
1	214	2 60	2 44
1	215	1 37	1 10
1	216	0 94	0 80
1	217	0 86	0 38
1	218	1 06	0 34
1	219	0 91	0 36
1	220	1 04	0 56
1	221	0 73	0 43
1	222	1 01	0 53
1	223	1 44	0 83
1	224	0 86	0 43
1	225	1 48	0 68
1	226	0 86	0 43
1	227	0 58	0 44
1	228	0 49	0 41
1	229	0 78	0 37
1	230	0 56	0 23
1	231	0 83	0 45
1	232	1 23	0 93
1	233	0 95	0 53
1	234	1 35	0 82
1	235	0 84	0 73
1	236	0 73	0 42
1	237	1 88	1 60
1	238	0 74	0 46
1	239	1 05	0 38
1	240	0 93	0 40
1	241	1 38	0 88
1	242	0 99	0 62
1	243	0 92	0 59
1	244	1 60	0 80
1	245	1 23	0 75
1	246	2 34	1 90
1	247	1 89	1 39
1	248	1 02	0 50
1	249	1 94	1 19
1	250	2 32	1 51
1	251	1 16	1 23
1	252	1 69	0 95
1	253	1 82	1 42
1	254	2 94	2 13
1	255	1 70	1 21
1	256	1 78	0 97
1	257	1 63	1 75
1	258	1 51	0 88
1	259	1 22	0 70
1	260	1 22	0 79

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
1	261	0 81	0 47
1	262	1 08	0 83
1	263	0 91	0 43
1	264	1 11	0 68
1	265	0 85	0 41
1	266	1 46	0 91
1	267	1 26	0 61
1	268	1 49	0 73
1	269	1 62	0 79
1	270	0 66	0 35
2	1	5 41	9 16
2	2	7 65	10 44
2	3	4 25	4 34
2	4	2 53	2 68
2	5	3 84	4 90
2	6	5 31	7 23
2	7	2 09	2 57
2	8	4 26	3 85
2	9	3 87	4 59
2	10	3 43	4 61
2	11	2 28	3 27
2	12	2 81	2 49
2	13	3 11	3 38
2	14	4 00	6 31
2	15	3 52	4 32
2	16	2 65	2 53
2	17	4 34	4 71
2	18	2 66	2 48
2	19	2 92	2 65
2	20	2 32	2 82
2	21	2 92	2 57
2	22	2 57	4 19
2	23	3 66	4 09
2	24	2 26	3 35
2	25	1 54	1 67
2	26	2 91	3 48
2	27	6 23	7 29
2	28	3 54	3 33
2	29	3 15	3 13
2	30	2 89	3 67
2	31	3 22	5 50
2	32	4 46	6 70
2	33	4 67	8 57
2	34	1 39	1 62
2	35	6 01	7 42
2	36	4 72	6 49
2	37	4 79	6 66
2	38	2 18	2 70
2	39	4 27	5 69

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
2	40	3 27	3 29
2	41	2 94	3 30
2	42	3 06	4 13
2	43	3 89	4 60
2	44	6 47	8 43
2	45	4 81	6 04
2	46	3 68	4 37
2	47	5 11	4 45
2	48	2 41	1 98
2	49	2 73	2 10
2	50	3 96	5 25
2	51	6 45	12 94
2	52	2 67	2 68
2	53	6 30	7 74
2	54	2 12	3 04
2	55	3 54	4 01
2	56	1 89	1 39
2	57	3 59	3 36

CORRIENTE		LONGITUD	AREA DE CONTRIBUCIÓN
Orden	Número	(km)	(km ²)
3	1	9 76	21 93
3	2	6 40	13 34
3	3	5 32	7 98
3	4	8 30	17 43
3	5	6 48	15 32
3	6	6 10	9 25
3	7	6 82	14 40
3	8	8 35	14 16
3	8	8 35	14 16
3	9	12 16	27 94
3	10	11 65	28 88
3	11	3 61	5 55
3	12	8 42	16 22
4	1	22 87	83 60
4	2	65 32	264 41
5	1	77 84	394 29

Orden (u)	N (u)	log (Nu)	(u) ²	(u) * log (Nu)
1	270	2 431	1	2 431
2	57	1 756	4	3 512
3	12	1 079	9	3 238
4	2	0 301	16	1 204
5	1	0 000	25	0 000
15		5 567	55	10 385

$$a = 3 009$$

$$b = -0 632$$

$$RB = 4 283$$

Orden (u)	A (u)	A (u) / N (u)	log (Au)	(u) ²	(u) * log (Au)
1	217 9	0 807037	-0 093	1	-0 093
2	260 55	4 571053	0 660	4	1 320
3	192 4	16 03333	1 205	9	3 615
4	348 01	174 005	2 241	16	8 962
5	394 29	394 29	2 596	25	12 979
15		394 29	6 608	55	26 783

$$a = -0 766$$

$$b = 0 696$$

$$RA = 4 964$$

Orden (u)	L (u)	L (u) / N (u)	log (Lu)	(u) ²	(u) * log (Lu)
1	561 39	151575 3	2 749	1	2 749
2	209 52	11942 64	2 321	4	4 642
3	93 37	1120 44	1 970	9	5 911
4	88 19	176 38	1 945	16	7 782
5	77 84	77 84	1 891	25	9 456
15		77 84	10 877	55	30 540

$$a = 2 803$$

$$b = -0 209$$

$$RL = 1 619$$

Cota Inicial	Cota final	Longitud (m)	Longitud (km)	Si	(Si)%	Li/(Si)%
425	365	1579	1.579	0.0380	0.1949	8100.23
365	340	1390	1.390	0.0180	0.1341	10364.59
340	232	1326	1.326	0.0814	0.2854	4646.26
232	228	2232	2.232	0.0018	0.0423	52724.36
228	224	1049	1.049	0.0038	0.0618	16987.65
224	208	1358	1.358	0.0118	0.1085	12510.93
208	172	1309	1.309	0.0275	0.1658	7893.29
172	132	1244	1.244	0.0322	0.1793	6937.46
132	120	560	0.560	0.0214	0.1464	3825.53
120	110	1342	1.342	0.0075	0.0863	15546.36
110	100	1237	1.237	0.0081	0.0899	13757.98
100	97	1333	1.333	0.0023	0.0474	28098.59
97	80	1864	1.864	0.0091	0.0955	19518.41
80	76	1168	1.168	0.0034	0.0585	19958.79
76	73	1360	1.360	0.0022	0.0470	28956.61
73	71	1030	1.030	0.0019	0.0441	23374.42
71	69	1530	1.530	0.0013	0.0362	42317.71
69	67	2135	2.135	0.0009	0.0306	69756.04
67	65	2000	2.000	0.0010	0.0316	63245.55
65	63	1401	1.401	0.0014	0.0378	37080.21
63	60	1782	1.782	0.0017	0.0410	43431.11
60	58	2014	2.014	0.0010	0.0315	63910.79
58	57	3103	3.103	0.0003	0.0180	172851.31
57	56	1316	1.316	0.0008	0.0276	47740.16
56	55	1742	1.742	0.0006	0.0240	72706.33
55	54	989	0.989	0.0010	0.0318	31102.44
54	53	1218	1.218	0.0008	0.0287	42508.03
53	52	526	0.526	0.0019	0.0436	12063.65
52	51	2676	2.676	0.0004	0.0193	138429.66
51	50	1146	1.146	0.0009	0.0295	38795.10
50	47	2091	2.091	0.0014	0.0379	55203.98
47	46	1622	1.622	0.0006	0.0248	65324.53
46	45	1271	1.271	0.0008	0.0280	45312.53
45	43	2864	2.864	0.0007	0.0264	108378.85
43	40	2155	2.155	0.0014	0.0373	57757.75
40	37	1419	1.419	0.0021	0.0460	30861.21
37	35	1038	1.038	0.0019	0.0439	23647.27
35	33	1309	1.309	0.0015	0.0391	33488.41
33	30	1136	1.136	0.0026	0.0514	22105.83
30	25	844	0.844	0.0059	0.0770	10965.51
25	20	1089	1.089	0.0046	0.0678	16071.51
20	18	3417	3.417	0.0006	0.0242	141238.30
18	16	1790	1.790	0.0011	0.0334	53550.63
16	14	1243	1.243	0.0016	0.0401	30987.87
14	12	1904	1.904	0.0011	0.0324	58746.96
12	10	1494	1.494	0.0013	0.0366	40832.96
10	8	2394	2.394	0.0008	0.0289	82826.86
8	3	3801	3.801	0.0013	0.0363	104600.13
SUMA =		77840	77.840			2131240.6

Pendiente	0.00133	
Longitud	77.840	km
Área	394.290	km ²

T. de conc.	24.262	hr
D. en exceso	24.262	hr
T. Retraso	14.557	hr

Tiempo pico	28.688	hr
Gasto pico	3.073	m ³ /s/mm

Velocidad	0.891	m/s
-----------	-------	-----

Hidrograma Unitario: Río Cañas

