



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“FUNDAMENTOS PARA LA DETERMINACIÓN  
DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO  
EN CUENCAS NO AFORADAS”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:**

**EDER CUÉLLAR ALCÁNTAR**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M. en C. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ**



**MÉXICO**

**2014**



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.

*DEDICATORIA:*

*A mi familia por completo por estar presente en todo momento tendiéndome la mano y brindándome su apoyo incondicional, porque a pesar de los obstáculos que se presentaron en este largo caminar, nunca me dieron la espalda y siempre han estado al pendiente de las necesidades de cada integrante de la familia, los quiero mucho a todos ustedes son lo más valioso en mi vida y no se habría cumplido esta etapa si no hubiesen puesto por tantos años su confianza en mí.*

*A mis amigos de la carrera por su apoyo, experiencias y convivencias tan divertidas que pasamos a lo largo de la carrera y que en las buenas y en las malas supimos librar los obstáculos que se presentaron en nuestro andar.*

*AGRADECIMIENTOS*

*Gracias Dios mío por prestarme vida para caminar el sendero de una formación académica profesional y brindarme todos los elementos y herramientas para concluir una etapa importante en mi vida, la cual es un escalón de motivación para seguir afrontando sin temor nuevos retos.*

*Al M. en C. Luis Pomposo Vigueras Muñoz un especial agradecimiento por aceptar ser mi director de tesis y brindarme la paciencia, atención y tiempo para asesorarme en este trabajo, recalco que es una persona muy profesional y comprometida con su trabajo.*

*A mis profesores de carrera por regalarnos en gran cantidad parte de sus conocimientos y por preocuparse porque el alumnado salga adelante en sus estudios y vida profesional.*

*El mayor agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por permitirme ingresar a sus filas y concluir con éxito la carrera de Ingeniería Civil.*

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>➤ INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
✓ Problemática	3
✓ Objetivo General	3
<b>➤ CAPÍTULO I ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
✓ Enfoque de estimación de avenidas de diseño	8
✓ Medición de la precipitación en México	8
<b>➤ CAPÍTULO II CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y FISIAGRÁFICAS DE LAS CUENCAS</b>	<b>9</b>
✓ Cuenca hidrográfica	10
✓ Clasificación de las cuencas hidrográficas	12
✓ Características fisiográficas	15
✓ Características geomorfológicas	17
✓ Clasificación de los ríos	19
✓ Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca	22
<b>➤ CAPÍTULO III REGIONALIZACIÓN O IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA</b>	<b>24</b>
✓ Ríos principales	25
✓ Vertientes	27
✓ Regionalización	30
✓ Red de estaciones climatológicas	33
✓ Estaciones hidrométricas	34
✓ Red hidrométrica óptima	35
✓ Redes pluviométricas	35
✓ Redes climáticas	36

---

➤ <b>CAPÍTULO IV MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE AVENIDAS MÁXIMAS PARA CUENCAS NO AFORADAS</b>	37
✓ Métodos Empíricos	38
✓ Selección del periodo de retorno	39
✓ Curvas altura de precipitación-área-duración (hp – A – d)	39
✓ Intensidad Máxima de lluvia (i)	41
✓ Tiempo de concentración	41
✓ Lluvia media de diseño	42
✓ Estimación de la avenida máxima de diseño o escurrimiento máximo	43
✓ Método de las envolventes de Creager y Lowry para gasto máximo	43,44
✓ Método de las curvas numéricas o del SCS	50
✓ Grupos de suelo	51
✓ Condiciones hidrológicas del área de drenaje	51
✓ Uso de suelo	51
✓ Humedad antecedente	53
✓ Escurrimiento medio	54
✓ Escurrimiento máximo instantáneo	55
✓ Método del CNA	56
✓ Método de las huellas máximas	57
✓ Métodos Semiempíricos	57
✓ Método de la sección pendiente o área pendiente	58
✓ Modelos existentes para el cálculo de precipitación-escurrimiento	60
✓ Fórmula Racional	60
✓ Método Racional modificado	63
✓ Método del Hidrograma Unitario Triangular	64
✓ Aplicación del hidrograma unitario en cuencas pequeñas para problemas de diseño	65
✓ Aplicación del hidrograma unitario en cuencas grandes para problemas de diseño	65
✓ Método de Chow	66
➤ <b>CAPÍTULO V EJERCICIOS DE APLICACIÓN</b>	68
✓ Delimitación del ancho, cauce y obtención del área de la cuenca	69
✓ Características de la cuenca ejemplo Arroyo Quebrantahuesos	72
✓ Superposición de imágenes	73
✓ Cálculo de la longitud del cauce principal con ayuda del software Mapa digital	76
✓ Cálculo de la longitud del cauce principal con ayuda del software ArcGIS 10.1	77
✓ Cálculo pendiente del cauce principal	80

---

✓ Edafología del Arroyo Quebrantahuesos	82
✓ Uso de suelo	83
✓ Cálculo y obtención del número de escurrimiento N	84
✓ Tiempo de concentración	85
✓ Lluvia media de diseño	88
✓ Fórmula Racional	90
✓ Precipitación en exceso y coeficiente de escurrimiento	91
✓ Intensidad de lluvia	92
✓ Gasto máximo, Q (m <sup>3</sup> /s)	93
✓ Método del Hidrograma Unitario Triangular	93
✓ Gasto máximo, Q (m <sup>3</sup> /s)	94
✓ Método de Vent Te Chow	95
✓ Gasto máximo, Q (m <sup>3</sup> /s)	97
✓ Comparativo de los 3 métodos	97
✓ Escurrimiento medio	98
✓ Método de envolventes de Creager y Lowry, ejemplo de aplicación	99
✓ Ejemplo demostrativo para obtener parámetros de drenaje de una cuenca	100
✓ Cálculo de parámetros de drenaje de una cuenca	103
➤ <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	105
➤ <b>FUENTES BIBLIOGRÁFICAS</b>	108
➤ <b>FUENTES ELECTRÓNICAS</b>	112
➤ <b>ANEXOS</b>	113

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Referencia</b>	<b>Página</b>
1	Características que distinguen a las cuencas hidrográficas	11
2	Tamaño de cuencas	15
3	Características de una corriente joven	19
4	Características de una corriente madura	20
5	Características de una corriente senil	20
6	Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca	22,23
7	Clasificación de Vertientes y ríos	28
8	Listados de principales ríos por vertiente	29
9	Organización de las 37 regiones hidrológicas	30
10	Características de las regiones hidrológicas	31
11	División de las 13 regiones hidrológico administrativas	32
12	Cuadro orientativo de densidad mínima de estaciones hidrométricas	35
13	Cuadro orientativo de densidad mínima de estaciones pluviométricas	36
14	Rango de densidad mínima de estaciones evaporación, (OMM)	36
15	Velocidad media del agua (m/s) en cauces	41
16	Valores de “e” para diferentes tiempos de concentración	42
17	Coefficiente de Creager para las 37 regiones hidrológicas	46,47,48
18	Coefficiente de Lowry para las 37 regiones	49
19	Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS.	51
20	Condiciones hidrológicas del área de drenaje.	51
21	Curva numérica (CN) para estimar el escurrimiento bajo diferentes complejos suelo - cobertura	52
22	Condición de humedad antecedente como función de la precipitación	53
23	Curvas numéricas (CN) para condiciones de humedad antecedentes húmeda (III) y seca (I) a partir de las condiciones de humedad media	53
24	Coefficiente de Escurrimiento según tipo de suelo	54
25	Parámetros de distribución de Gumbel	56
26	Valores del coeficiente de rugosidad (n) de Manning para cauces naturales	61
27	Uso del suelo con cobertura y tipología	62
28	Valores del coeficiente de escurrimiento mínimos y máximos	62,63
29	Ejemplo de valor ponderado para coeficiente de escurrimiento	64

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Referencia</b>	<b>Página</b>
1	Relación lluvia - escurrimiento	5
2	Cuenca hidrográfica en ArcGIS	10
3	Cuenca hidrográfica en ArcGIS	11
4	Representación de la cuenca arreica	12
5	Representación de la cuenca criptorreica	12
6	Representación de la cuenca endorreica	12
7	Representación de la cuenca exorreica	12
8	División de la cuenca según su red de drenaje	14
9	Área de una cuenca	15
10	Parteaguas	16
11	Corriente principal de un río	16
12	Corriente tributaria de un río	16
13	Orden de corrientes de una cuenca	17
14	Tipos de drenaje de una cuenca	18-19
15	Corriente joven	20
16	Corriente madura	20
17	Corriente senil	20
18	Corriente perené	21
19	Corriente intermitente	21
20	Corriente efímera	21
21	Ríos principales de México	26
22	Vertientes de la República Mexicana	27
23	37 regiones hidrológicas	30
24	13 regiones hidrológico-administrativas	32
25	Estaciones climatológicas	33
26	Estaciones hidrométricas	34
27	Curvas Hp-A-d (altura de precipitación-área-duración)	40
28	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia	41
29	Envolvente mundial de Creager	44
30	Envolvente de Lowry	44
31	Curvas numéricas	50
32	Elementos de una sección transversal	57
33	Elementos de una sección transversal	59

---

# INTRODUCCIÓN

---

## INTRODUCCIÓN

La hidrología estudia las aguas de la superficie terrestre, sean éstas las que fluyen en los ríos o se hallan depositadas en los lagos y lagunas.

La importancia del estudio de los ríos, lagos y lagunas radica no solamente en el aspecto físico, sino sobre todo en su aspecto de influencia en la vida de los pueblos.

Cuando mayor es el conocimiento científico que se tenga de estas aguas superficiales, dentro del territorio nacional, mejor será el aprovechamiento que se tenga de ellas.

Se entiende que una cuenca “no aforada” es aquella que no ha sido medida, calculada, marcada o investigada con precisión en el caudal y como ende su escurrimiento de esta misma, como tal hay métodos semiempíricos y empíricos para hallar el escurrimiento neto que se presenta en una cuenca. Existen diversos métodos para estimar la avenida máxima que puede producirse en una cuenca.

La seguridad de una estructura cualquiera está determinada por su respuesta ante un evento que puede presentarse o ser excedido con una probabilidad determinada.

En el caso de una presa o una obra para control de inundaciones, dicho evento puede ser la tormenta de diseño o la avenida de diseño.

Dado que el evento que incide directamente sobre un vaso o cualquier obra para control de inundaciones es la avenida de diseño, se considera más apropiado caracterizar la seguridad de una presa en términos de su respuesta ante la ocurrencia de dicha creciente.

La estimación de avenidas de diseño es el proceso de obtener las características del hidrograma que se utilizará para determinar las dimensiones de una obra.

El fin de los métodos de estimación de avenidas de diseño es determinar de la mejor manera posible la magnitud del evento correspondiente a un nivel de riesgo aceptable.

La estimación de avenidas se realiza con base en un nivel de riesgo determinado, que se traduce en un periodo de retorno de diseño, que corresponde al número de años en el que, estadísticamente, el evento de diseño puede presentarse o ser excedido.

Es común que no se cuente con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés de una cuenca hidrológica para determinar los parámetros necesarios requeridos en el diseño y operación de obras hidráulicas. En general, los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento y además no se ven afectados por cambios en la cuenca, como construcción de obras de almacenamiento derivación, tala de árboles, urbanización, etc.

En la primera parte de este documento se hace referencia a los Antecedentes, se citan algunos autores que se han encargado de investigar y brindar información sobre los modelos que se han propuesto para el cálculo de escurrimientos y se habla de las características por las que cada uno utiliza los diferentes métodos para el aforo de una cuenca, se hace mención de las tres divisiones que se dan dependiendo de los datos con los que cuenta la cuenca en estudio, se describe la razón de la denominación de avenida máxima o escurrimiento máximo y por último se describe brevemente los dos enfoques de estimación de avenidas de diseño y de las unidades que se encuentran en México para llevar a cabo mediciones de precipitación.

Con el segundo apartado se abordan las características geomorfológicas y fisiográficas de las cuencas, se explica cuales son consideradas cuencas hidrográficas, como se pueden distinguir dependiendo de su forma, tamaño, red de drenaje, razón de bifurcación y pendiente, se hace una clasificación de las cuencas hidrográficas en base a sus características, se habla de los diferentes tipos de cuencas que existen y su clasificación, los tipos de corrientes, redes de drenaje, clasificación de los ríos y se presenta una tabla con las fórmulas para obtener los parámetros de caracterización del sistema de drenaje de una cuenca.

Para la tercera sección de este documento se describe la Regionalización o identificación de cuencas en la República Mexicana, se dan a conocer los principales ríos mexicanos, se presenta una serie de mapas en los cuales se pueden identificar tanto los principales ríos, las cuencas, las vertientes, las zonas hidrológicas y zonas hidrológico-administrativas en que se divide el país, red de estaciones hidrométricas, climatológicas y pluviométricas, se presentan diversas tablas con listados de los principales ríos, con las características de las regiones hidrológicas y un cuadro orientativo en el que se indica la densidad mínima de estaciones hidrométricas y pluviométricas que debe de haber por región dependiendo de sus características.

Los métodos para determinación de avenidas máximas para cuencas no aforadas, se encuentran dentro del cuarto bloque, en este mismo se brinda información de los métodos que se utilizan para el aforo de cuencas que aún no cuentan con ningún tipo de registro, se explican los distintos tipos de métodos y se presentan las fórmulas para la obtención de cada uno de los datos que pueden ayudar al aforo de la cuenca y a calcular el escurrimiento o la máxima avenida, se explica de manera sencilla y breve como se utilizan los métodos y se presentan distintas tablas en las que se hace mención de los distintos coeficientes que existen para llevar a cabo dichos cálculos se muestran las tablas para el cálculo de las curvas numéricas dependiendo de los distintos tipos de suelo que pueden presentarse en las cuencas.

En lo que refiere a los ejemplos de aplicación, se ubican dentro del quinto apartado, se explica el procedimiento que se debe de llevar a cabo para el aforo de una cuenca, esto con ayuda de distintos software y complementándolo con los métodos y fórmulas que se presentan en este documento, se brinda una descripción de la manera de utilizar los software para obtener las características, posteriormente se realizan los cálculos para obtener los gastos máximos con el apoyo de las tablas y los coeficientes que se presentan en capítulos anteriores.

Se hace un resumen de los métodos utilizados y se comparan los diferentes gastos obtenidos con los distintos métodos utilizados. En este caso el estudio hidrológico se realizó al Arroyo Quebranta Huesos que se encuentra ubicado en el Estado de Oaxaca en la región hidrológica 21.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones que obtuvimos o determinamos a partir de los resultados del aforo del Arroyo Quebranta Huesos y se indican los anexos agregados a este documento.

## **PROBLEMÁTICA**

**E**n la República Mexicana, cada temporada de lluvias o de huracanes se ha convertido en historias de tragedias en cientos de miles de mexicanos. La falta de herramientas que permitan una sencilla predicción de máximas avenidas, es una de las principales causas de inundaciones y pérdidas que padecen distintas regiones y comunidades que se ubican cerca del lecho de un río. Hay regiones que han resultado ser más vulnerables, esto ha llevado a que se realicen distintos estudios hidrológicos pero en muchos de los casos son áreas de difícil acceso a las zonas que se pretenden aforar por lo que el estudio no se lleva a cabo y esto ocasiona que se tenga poca información de algún tipo.

## **OBJETIVO GENERAL**

**C**on el presente trabajo se pretende contribuir, con un documento que facilite la consulta de la teoría necesaria para la realización de estudios hidrológicos, comentando también la aplicación de algunas de las herramientas disponibles y de fácil acceso, para determinar los gastos de diseño así como las características geomorfológicas y fisiográficas de la zona de estudio llamada cuenca.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

## CAPÍTULO I

### ➤ ANTECEDENTES

Diversos investigadores han llevado a cabo estudios sobre modelos de precipitación-escorrimento; estos se pueden dividir en tres grupos: modelos que requieren únicamente las principales características físicas de la cuenca en estudio, modelos que requieren contar con registros simultáneos de precipitación y escurrimento y modelos que además de disponer de registros simultáneos de precipitación-escorrimento deben de contar con características físicas y detalladas de la cuenca.

Springall (1967). Considera que hay gran variedad de métodos empíricos y aunque en general se puede decir que sólo se requiere del conocimiento del área de la cuenca y de su coeficiente de escurrimento, éstos pueden conducir a errores muy grandes y sólo proporcionar el gasto máximo instantáneo.

Fuentes et al. (1981). Mencionan a los modelos de Caja Negra que utilizan información detallada de las características físicas de la cuenca así como la aplicación de las fórmulas fundamentales de la Hidráulica; con el fin de simular el proceso de escurrimento en toda la cuenca. Estos modelos son los más completos porque ofrecen un conocimiento detallado del proceso de precipitación-escorrimento, en ellos se puede considerar a la cuenca como un sistema cuyas entradas y salidas son los registros simultáneos de precipitaciones y escurrimentos, respectivamente, como se muestra en la figura 1.

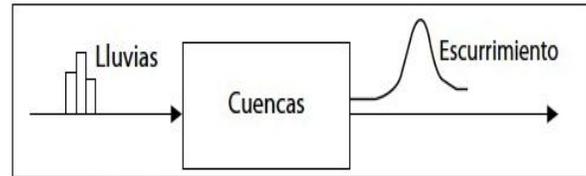


Figura 1 relación lluvia - escurrimento

<http://www.mmc.igeofcu.unam.mx/smc2010/Archivos/AAR/Estimaci%C3%B3n%20de%20avenidas%20de%20dise%C3%B1o.pdf>

Pereyra et al. (1984). Menciona que los modelos de predicción son muy útiles cuando se va a diseñar una obra hidráulica de control sobre la trayectoria de un río, por lo que es necesario considerar el gasto máximo probable que se pueda presentar en este, durante un determinado periodo de tiempo, ya que un error en el cálculo de las dimensiones de la obra, originaría posiblemente pérdidas económicas en la agricultura y ganadería, y probablemente la pérdida de vidas humanas. Si la obra es de grandes dimensiones (como en el caso de compuertas y vertedores de plantas hidroeléctricas).

Pereyra y Hernández (1987). Mencionan que los modelos empíricos se basan en ecuaciones empíricas, obtenidas en otros sitios, que relacionan las características más representativas de las tormentas, de las cuencas y de los hidrogramas de las avenidas.

Por ejemplo, relacionan el gasto máximo o gasto de pico del hidrograma con la intensidad media de la tormenta, el área de la cuenca, la pendiente media del cauce y se recomienda usarlos cuando no sea

posible utilizar métodos estadísticos o métodos hidrometeorológicos.

Uno de los más conocidos, en la República Mexicana, es el desarrollado por Creager.

Debido a su sencillez, los métodos empíricos tienen gran difusión, pero así también, pueden involucrar grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento es mucho más complejo para resumirlo en una fórmula de tipo directo, en la que solo interviene el área de la cuenca y un coeficiente de escurrimiento.

Pereyra (1993). Muestra una técnica para estimar la avenida de diseño en cuencas grandes usando como variable independiente la precipitación máxima probable (pmp); para esto utilizó el modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo. El cual fue alimentado con la pmp diaria, que se pueda presentar en 1000 años en la cuenca del río Tecolutla, México, según la distribución de valores extremos de Gumbel publicada en 1958.

Carrizosa (1997) menciona que una de las formas más comunes para estimar la avenida de diseño, de las obras hidráulicas, consiste en observar la tendencia que se observa al graficar los gastos máximos anuales registrados en una determinada cuenca, contra sus respectivos periodos de retorno.

Existe también otro tipo de modelos llamados globales como son los que se basan; en el coeficiente de escurrimiento  $C_e$ , la infiltración y el número de escurrimiento  $N$  (Domínguez et al., 1999).

Se define como avenida máxima al máximo caudal que se puede presentar a la salida de una cuenca y siempre será consecuencia de una lluvia máxima.

Se define como lluvia máxima a la mayor altura de agua que meteorológicamente puede darse durante un tiempo dado y en un periodo de tiempo prefijado. A este periodo de tiempo prefijado se le denomina periodo de retorno ( $T$ ) que se define como el promedio de años que ha de transcurrir para que se presente una sola vez la lluvia máxima. Oscila entre 5 y 500 años, cumpliéndose que cuanto mayor es el periodo de retorno, mayor es la altura de agua de la lluvia máxima

Las avenidas causan daños de dos tipos debido a la fuerza de corriente durante la crecida que se produce, tal como la erosión de la base de un puente o por desborde de agua que producen inundaciones.

Se debe tener en cuenta que, las avenidas son fenómenos originados por el carácter aleatorio de las descargas de los ríos. La ocurrencia de crecidas de los ríos se describe en términos probabilísticos.

Es decir, que cada avenida va asociada a una probabilidad de ocurrencia.

Una avenida (en algunos lugares se denomina también como crecida de un río, lago, creciente, riada o aguas altas) es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río resulta insuficiente para contenerlo.

Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico (Estimación de Caudales) y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río y de puente.

En nuestro país, existe escasez de datos, por lo que juegan un papel muy importante la experiencia y el buen tino del ingeniero proyectista para escoger la Avenida de Diseño.

Dentro de los criterios para la selección de los valores posibles están los relativos al máximo nivel alcanzado por el agua, la capacidad del encauzamiento, si fuese el caso las máximas socavaciones y muchas otras más. El registro y estudio de las máximas avenidas anuales permite determinar bajo ciertos supuestos, la probabilidad de ocurrencia de avenidas de una cierta magnitud.

Aunque muchos métodos de diseño hidrológico están basados particularmente en principios teóricos, el desarrollo de casi todos los métodos de diseño utiliza algún tipo de análisis de datos. En algunos casos, un análisis teórico es usado para identificar las variables de entrada y la forma de la ecuación de predicción, pero el método de diseño se pone en práctica sólo después de analizar los datos de mediciones hidrológicas.

Dado el uso generalizado de técnicas de análisis de datos en hidrología, es importante estar familiarizado con los métodos de análisis de datos usados muy frecuentemente. (Hydrologic Analysis and Design, Richard H. McCuen).

Cuando se requiere estimar los eventos de diseño en un sitio particular que cuenta con poca o nula información hidrométrica se puede hacer uso de las técnicas regionales de análisis hidrológico, las cuales transfieren información desde sitios vecinos hacia la zona de estudios.

Generalmente estas técnicas requieren de una cantidad importante de información, sin embargo han demostrado ser un excelente

medio para reducir la incertidumbre a la estimación de eventos de diseño.

Las técnicas regionales requieren que la información proveniente de las estaciones involucradas en el análisis tenga un comportamiento homogéneo de alguna manera cuantificable.

Se han desarrollado metodologías de delimitación regional que tratan acerca de los problemas asociados con la correcta selección de las técnicas de agrupamiento, con la definición de la región homogénea y finalmente con la predicción del grupo de membresía al cual pertenecería una nueva cuenca en estudio.

La correcta delimitación de regiones con un mismo comportamiento meteorológicamente homogéneo, es de vital importancia en la predicción de eventos hidrológicos, sobre todo en cuencas con poca o nula información hidrométrica.

En sitios de interés sin información hidrométrica, su estimación se lleva a cabo con métodos regionales, cuyos resultados se deben escalar o dimensionar con base en la creciente media anual ( $Q_{ma}$ ). Para estimar la  $Q_{ma}$  en una cuenca sin aforos, los hidrólogos emplean ecuaciones de regresión potencial, desarrolladas para una región homogénea, las cuales relacionan los valores observados de la  $Q_{ma}$  con diversas características fisiográficas de sus cuencas. Debido a la importancia que tiene la estimación de la  $Q_{ma}$  se justifica la búsqueda de tales regresiones con una región homogénea, las cuales relacionan los valores observados de la  $Q_{ma}$  con diversos planteamientos y técnicas de obtención de sus parámetros de ajuste.

---

## **Enfoques de estimación de avenidas de diseño.**

### ***Hidrometeorológico.***

Basado en registros de precipitación y la modelación del proceso lluvia-escorrimento.

### ***Hidrométrico.***

Basado en registros de escurrimento y el uso de funciones de distribución de probabilidad

---

## **Medición de la precipitación en México**

5575 estaciones climatológicas con datos históricos (la mayoría con pluviómetro solamente)

77 observatorios meteorológicos

4594 estaciones con coordenadas conocidas

Densidad aproximada = 1 estación pluviométrica / 400 km<sup>2</sup>

Recomendación mínima de la OMM:

Terreno plano 1 estación por cada 600 a 900 km<sup>2</sup>

Terreno montañoso 1 estación por cada 100 a 250 km<sup>2</sup>

**México no cumple con la recomendación mínima.**

# CAPÍTULO II

**CARACTERÍSTICAS  
GEOMORFOLÓGICAS  
Y FISIAGRÁFICAS  
DE LAS CUENCAS**

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y FISIAGRÁFICAS DE LAS CUENCAS

---

#### Cuenca hidrográfica

---

Una cuenca hidrográfica de un río, arroyo o lago, es aquella superficie geográfica cuya precipitación pluvial que escurre, es decir que no regresa a la atmosfera por evapotranspiración ni se infiltra en los acuíferos, llega finalmente al río, arroyo o lago. Las cuencas hidrográficas son delimitadas por líneas de cumbres, las cuales están formadas por las cimas más altas de los relieves.

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial.

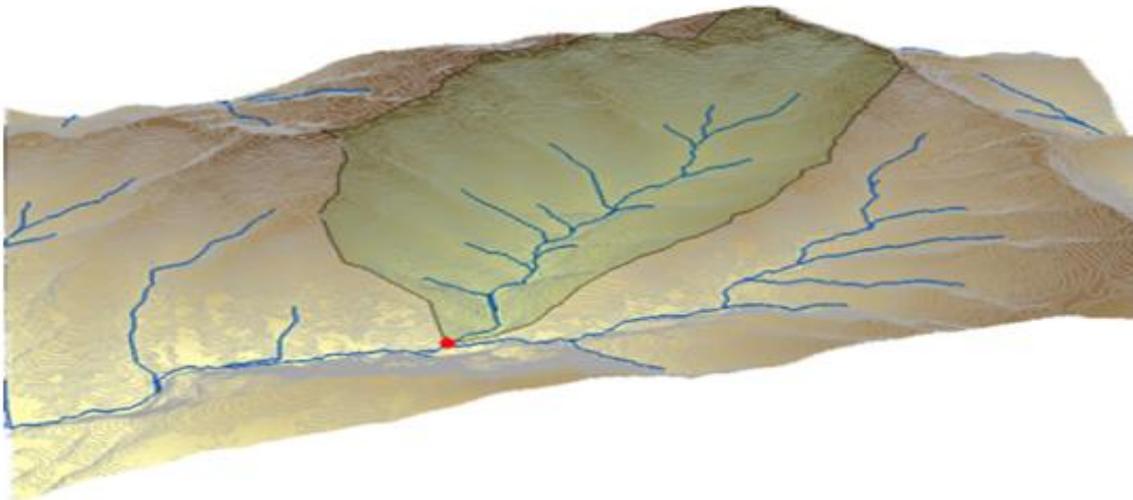


Figura 2 Gráfico de una cuenca octubre 2012  
Imagen tomada del documento: Delimitación de una cuenca hidrográfica en ArcGis  
<http://www.Acolita.com;>

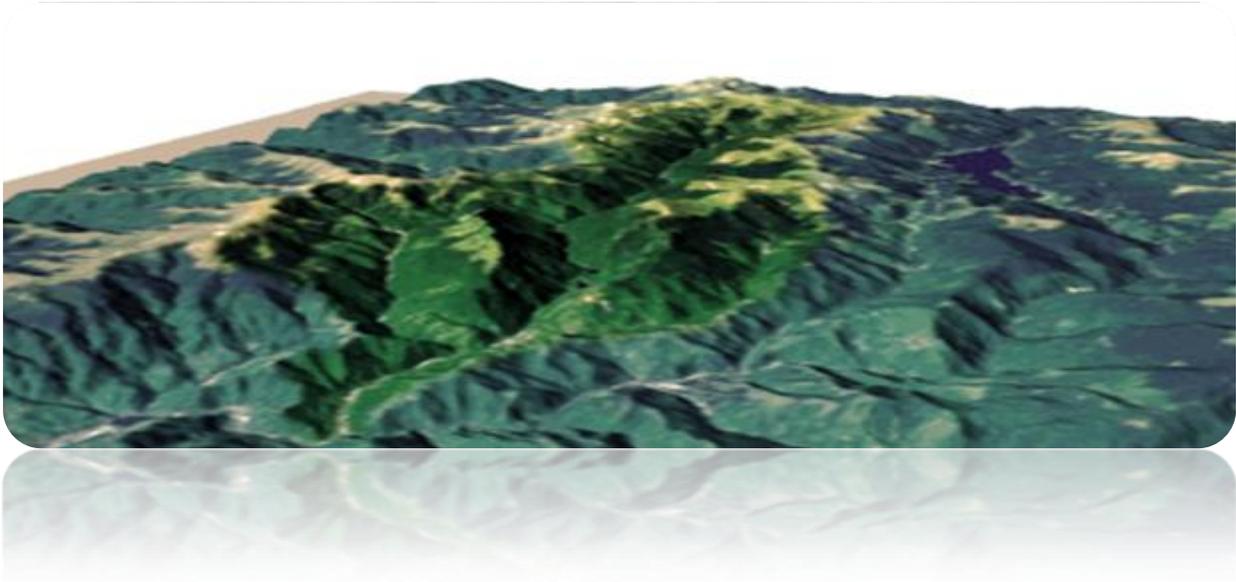


Figura 3 Gráfico de una cuenca octubre 2012  
 Imagen tomada del documento: Delimitación de una cuenca hidrográfica en ArcGis  
<http://www.Acolita.com;>

Para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen características particulares importantes que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos.

- **Las cuencas hidrográficas se distinguen según su:**

<b>Forma</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Red de drenaje</b>	<b>Razón de bifurcación</b>	<b>Pendiente</b>
Circular	Pequeñas	Tipo de material del suelo	Densidad de drenaje	Pendiente del cauce principal y pendiente media
Rectangular Cuadrangular	Medianas	De la cobertura vegetal	Cuenca homogénea; $3 \leq R_b \leq 5$	
Irregular	Grandes	De la pendiente del terreno	Cuenca muy elongada; $R_b > 10$	

Tabla 1. Características que distinguen a las cuencas hidrográficas.

- **Las cuencas hidrográficas se clasifican por su drenaje y conducción final en:**

### CUENCAS ARREICAS

- Cuando no logra drenar sus aguas a un río, mar o lago.
- Zonas áridas o desiertos.
- Sus aguas se pierden por evaporación o infiltración no forman escurrimiento subterráneo

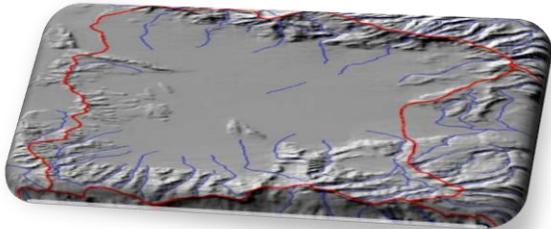


Figura 4 CONAGUA; Representación de la cuenca arreica; julio 2007  
Imagen tomada del documento: Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México

### CUENCAS ENDORREICAS

- Cuando las vertientes concentran o vierten todo su escurrimiento superficial hacia un punto que está dentro de la misma cuenca.
- Un embalse o un lago sin llegar al mar.

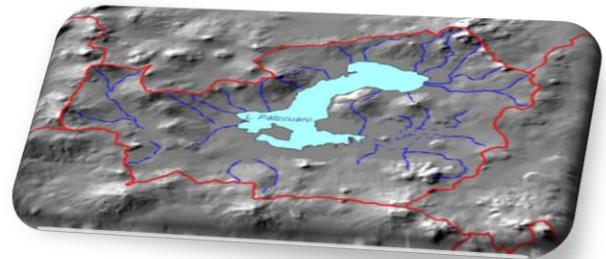


Figura 6 CONAGUA; Representación de la cuenca endorreica; julio 2007  
Imagen tomada del documento: Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México

### CUENCAS CRIPTORREICAS

- Cuando su red de drenaje superficial no tiene un sistema organizado aparente.
- Sus aguas discurren como ríos subterráneos
- Zonas cársticas



Figura 5 LA JORNADA; Representación de la cuenca criptorreica; julio 2001  
Imagen tomada del documento: Los cenotes de la península de Yucatán sección ecología

### CUENCAS EXORREICAS

Cuando las vertientes concentran o conducen su escurrimiento sobre otro cuerpo de agua (río, sistema mayor de drenaje) del cual son tributarias, los escurrimientos confluyen y desembocan en el mar o en un sistema lagunar costero.

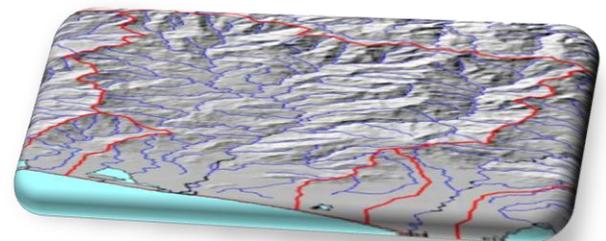
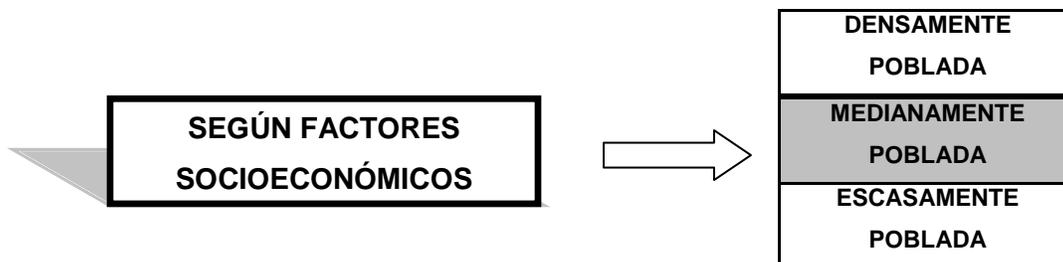
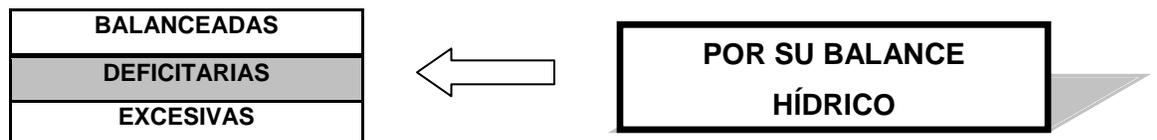
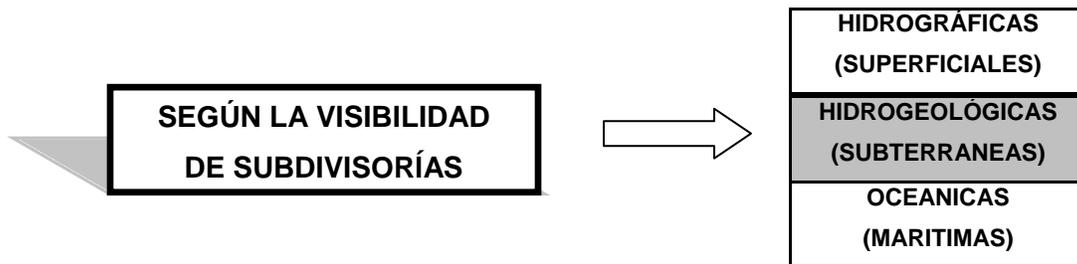
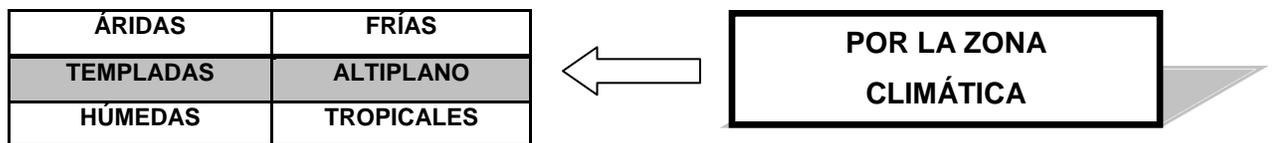
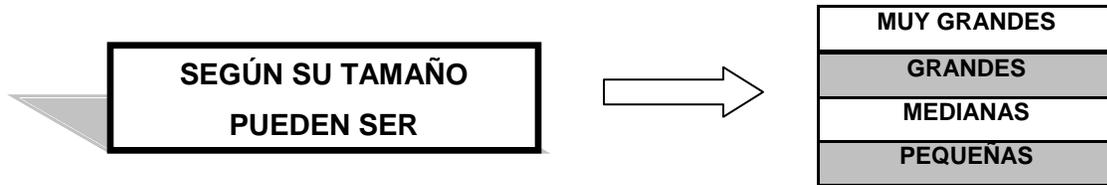
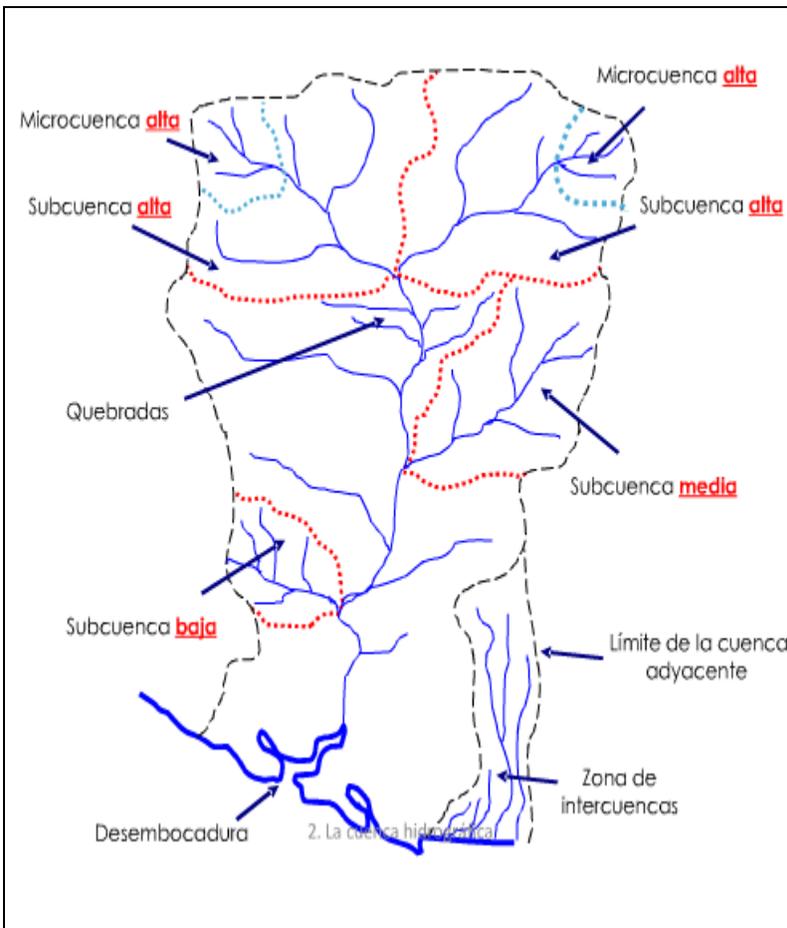


Figura 7 CONAGUA; Representación de la cuenca exorreica; 2007 julio  
Imagen tomada del documento: Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México

- *En estos cuadros se puede observar una clasificación de las cuencas en relación a algunas características y factores que pueden hacerse presentes.*



- **Según grado de concentración de red de drenaje.**



**Subcuenca**

Área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca (varias subcuencas conforman una cuenca).

**Microcuenca**

Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca (varias microcuencas conforman una subcuenca).

**Quebrada**

Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (varias quebradas conforman una microcuenca).

Figura 8 División de la cuenca según la red de drenaje. Imagen tomada del documento: Descripción General de Cuencas CATIE (Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza) 2007

**SEGÚN CRITERIO ALTITUDINAL**

**APRECIABLE**  
0-2500 m.s.n.m

**POCO APRECIABLE**  
0-1000 m.s.n.m.

**SEGÚN CRITERIO TOPOGRÁFICO**

**PARTES ACCIDENTADAS (MONTAÑAS Y LADERAS)**

**PARTES ONDULADAS, PLANAS Y CASI PLANAS (VALLES)**

**ZONA POR DONDE DESCARGA EL RÍO**

## Características Fisiográficas

En todo estudio hidrológico el conocimiento pleno de las distintas características que predominan en la zona en estudio constituye un factor importante para su culminación, por tal motivo se realiza una caracterización detallada de la cuenca para disponer de los elementos esenciales que den confiabilidad a los resultados finales del análisis hidrológico, es decir los gastos pico de las posibles avenidas y la distribución en el tiempo de los caudales durante el paso de tales avenidas.

### Área de la cuenca (A)

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural o hasta un punto convenido (estaciones de aforos, desembocadura, embalse, etc).

Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área corresponde mayor caudal medio.

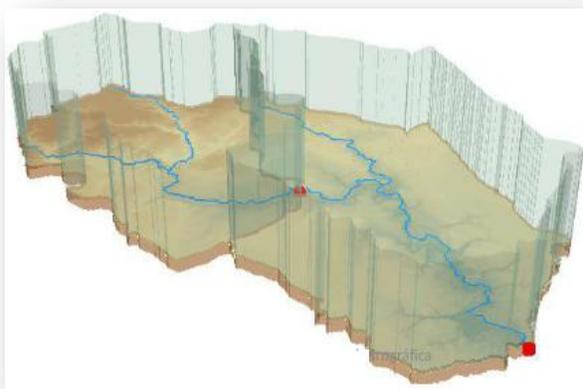


Figura 9 Gráfico Área de una cuenca octubre 2012  
Imagen tomada del documento: Delimitación de una cuenca hidrográfica en ArcGis  
<http://www.Acolita.com>;

TAMAÑO DE CUENCAS	
Km <sup>2</sup>	Clasificación
≤ 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
≥ 5000	Muy grande

Tabla 2. Clasificación Campos Aranda

Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrógrafas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrógrafas picudas cuando la precipitación fue intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.

El área de las cuencas se relaciona en forma inversa con la relación entre caudales.

### Parteaguas

Es la línea de las cumbres o línea divisoria de las aguas, el cual es el punto con mayor elevación altimétrica, cabe agregar que la línea divisoria de las aguas, es una línea imaginaria que delimita la cuenca y la moldea en su cauce, esto por encontrarse bajo la línea de las cumbres, hasta su salida al mar,

La línea divisoria de vertientes, separa a dos o más cuencas y es utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas. Ver Figura 10.

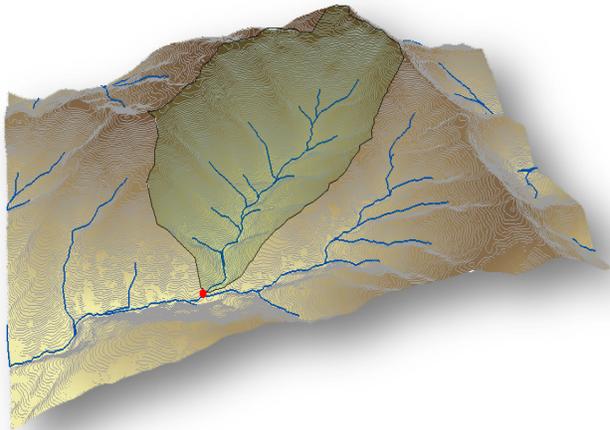


Figura10 Gráfico *Parteaguas 2012*  
 Imagen tomada del documento: *Delimitación de una cuenca hidrográfica en ArcGis*  
<http://www.Acolita.com>;

### Corriente principal

La corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica. Esta definición se aplica solamente a cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca sólo tiene una corriente principal.



Figura 11  
 INAFED; Gráfico de la corriente principal de un río  
 Imagen tomada del documento: *Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México Estado de Coahuila*

### Corriente tributaria

Un afluente (o tributario) es un curso de agua o un río que fluye en otro río o en un espejo de agua que no sea el mar.

Cuando dos o más afluentes o ríos corren juntos, se habla de confluencia.

Entre mayor densidad de tributarios una cuenca responde más rápido a una precipitación o tormenta.



Figura 12 Gráfico de una corriente tributaria de un río  
 F. J. Monkhouse. . Barcelona: Oikos-Tau Editores, 1978; Imagen tomada del documento: *Diccionario geográfico*

### Orden de corrientes

- Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios
- Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden.
- Cuando un cauce de orden menor se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo, retiene el mayor de los órdenes.
- El orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal a la salida Ver Fig 13.

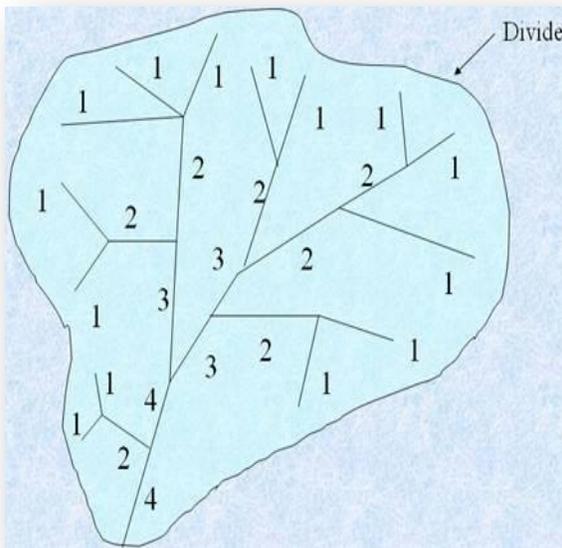


Figura 13 Gráfico de la orden de corrientes de una cuenca 2009  
 Imagen tomada del documento: Ingeniería de hidrología  
<http://facingyconst.blogspot.mx;>

### **Longitud mayor del eje de la cuenca**

Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano de la cuenca. Este parámetro es importante, ya que da una idea de la forma de la cuenca. Los procesos hidrológicos, por ejemplo el escurrimiento superficial, responden de manera diferente en una cuenca alargada que a la que se aproxima a una forma circular.

### **Ancho de la cuenca**

Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca, tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor.

### **Orientación de la cuenca**

Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor.

### **Relación de alargamiento**

Es la relación del diámetro de un círculo que tiene el mismo valor de área de la cuenca entre la longitud del eje mayor.

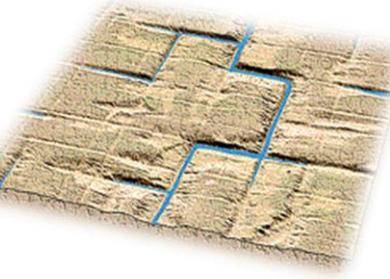
## **Características Geomorfológicas**

### **Red de drenaje**

La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida a las partes bajas.

En algunos tramos de los cauces, los bordos o riberas estarán asociados a grandes extensiones planas adyacentes que serán inundadas en la época de avenidas que se les conoce con el nombre de planicies de inundación

Es conveniente indicar que el sistema o red de cauces que drena una cuenca se clasifican en: dendrítico, rectangular, radial, enrejado, anular y multicuenca.

<p>DENDRITICO</p> 	<p>Formado por una corriente principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Litología con baja permeabilidad</li> <li>✓ Mediana pluviosidad</li> <li>✓ Poco caudal</li> <li>✓ Baja cobertura vegetal</li> <li>✓ Zonas de inicio de ladera</li> <li>✓ Pendientes moderadas</li> <li>✓ Laderas bajas</li> <li>✓ Rocas con resistencia uniforme</li> <li>✓ Zona litológicamente muy alterada</li> </ul>
<p>ENREJADO</p> 	<p>Es particular de rocas fuertemente plegadas o empinadas. Los canales que siguen las depresiones junto con los que corren a lo largo de las pendientes opuestas, se combinan para formar un sistema enrejado integrado con afluentes cortos contrario a los del sistema rectangular que son largos). Por ejemplo: Estratos sedimentarios inclinados, roca madre de pizarra.</p> <p>En este tipo los tributarios de primer orden son largos y de trazado recto, siendo a menudo paralelos a un curso principal. Los tributarios cortos confluyen con los canales mayores formando ángulos aproximadamente rectos.</p>
<p>RECTANGULAR</p> 	<p>Paralelismo de sus afluentes principales y generalmente con ángulos rectos y conexiones cortas entre los afluentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Control estructural (fallas, fracturas, discontinuidades)</li> <li>✓ Alta permeabilidad</li> <li>✓ Mediano Caudal</li> <li>✓ Moderada cobertura vegetal</li> <li>✓ Mediana pluviosidad</li> </ul>
<p>ANULAR</p> 	<p>Se desarrollan cuando el drenaje se acomoda alrededor de un domo de material resistente. Puede originarse en una modificación de una forma radial, si el domo ha plegado estratos alternados de diferente resistencia.</p> <p>se presenta cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Existe procesos de captura de cauces</li> <li>✓ Terrenos inestables</li> <li>✓ Pueden presentarse materiales con variada permeabilidad</li> <li>✓ Moderada a alta cobertura vegetal</li> <li>✓ Rocas de diferente dureza</li> </ul>

<p>RADIAL</p> 	<p>Compuesto por un grupo de canales que se originan en un punto central alto o termina en centro común bajo.</p> <p>A menudo ocupa una gran cobertura fotográfica para determinarlo, localmente aparece como unidad dendrítica, paralelas o sub-paralelas, dependiendo de la pendiente.</p> <p>El desarrollo de la red de drenaje es denso. Es necesario que se presenten las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Litología con baja permeabilidad</li> <li>✓ Baja cobertura vegetal</li> <li>✓ Pendientes fuertes y laderas altas</li> <li>✓ Caudales moderados</li> </ul>
<p>MULTICUENCA</p> 	<p>Son los que contienen los elementos de distintos patrones simples de drenaje.</p> <p>Esto es directamente atribuido al hecho de que el patrón de drenaje superficial se divide en subyacentes de caracteres que en general contrastan altamente.</p> <p>Como resultado, si uno examina un modelo de drenaje de este tipo se encontrará que los elementos del modelo de drenaje en la parte principal de la fina de un sistema puede ser de textura fina y dendrítica</p>

Figura 14 Gráficos: tipos de drenaje de una cuenca 2012  
 Imágenes tomadas del documento: Parque nacional y natural de Doñana, Armonía fractal  
<http://www.taringa.net>

## Clasificación de los ríos

### A partir de su posición topográfica o edad

#### ➤ Corriente joven o de montañas.

Son aquellas corrientes que erosionan rápidamente las riberas, creando secciones en forma de “v”; no cuentan con planicie de inundación, o ésta es muy poco extensa. Las pendientes del cauce son pronunciadas y es común encontrar en su desarrollo cascadas, rápidos y pocos tributarios de longitudes pequeñas. Ver Figura 15.

Cotas -Elevadas sobre el nivel del mar	Morfología del cauce -Pocas curvas
Pendientes -Grandes	Tipo de partículas sedimentarias en el cauce -Gravas
Velocidad del agua -Alta	

Tabla 3. Características de una corriente joven



Figura 15; Gráfico corriente joven 2012  
Imagen tomada del documento: Costa chica Guerrero  
<http://taringa.com>

➤ **Corriente madura o de transición.**

El potencial erosivo disminuye, suavizando la pendiente del cauce y eliminando las cascadas y rápidos; las extensiones de las planicies de inundación son mucho mayores y se inicia la formación de meandros, alcanzando así sus profundidades máximas.

Cotas -Medias	Morfología del cauce -Algunas curvas
Pendientes -Intermedias	Tipo de partículas sedimentarias en el cauce -Gravas, Arena
Velocidad del agua -Moderada	

Tabla 4. Características de una corriente madura.



Figura 16 Gráfico: Corriente madura  
Imagen tomada del documento: Antioquía  
<http://es.wikipedia.org>

**Nivel de agua en su cauce**

➤ **Corriente senil o de planicies.**

El proceso de ensanchamiento de la planicie de inundación es más importante que el de la profundización.

La figura señala las características predominantes de las corrientes de acuerdo con su ubicación topográfica o bien según su edad geológica.

Cotas -Cercanas al nivel del mar	Morfología del cauce -Numerosas curvas
Pendientes -Bajas llano o plano	Tipo de partículas sedimentarias en el cauce -Arena y finos
Velocidad del agua -Baja	

Tabla 5. Características de una corriente senil.



Figura 17 Gráfico. Corriente Senil  
Imagen toma del documento; Blog del río Paraná  
<http://rioparana.wordpress.com>

**A partir de la duración de su descarga**

➤ **Corriente permanente o perenne (efluente).**

**Tiempo en que el cauce transporta agua:**

-Durante todo el año

-Siempre presente

-El punto más bajo del cauce está por debajo del nivel de aguas freáticas (NAF).

-El acuífero siempre alimenta total o parcialmente al río.

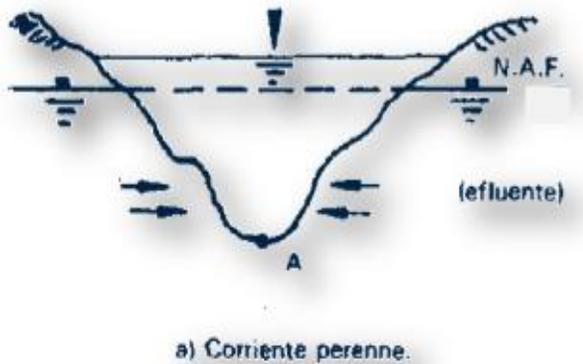


Figura 18 Gráfico; Corriente perenne  
Imagen tomada del documento: Fundamentos de hidrología de superficie.  
Aparicio Mijares 1992

➤ **Corrientes semipermanente o intermitentes.(influente-efluente)**

**Tiempo en que el cauce transporta agua**

- Época de lluvia
- Época de sequía  
(cuando ocurre una tormenta)

**Nivel de agua en su cauce**

-Presente: cada vez que el NAF asciende por encima de la línea que une los puntos más bajos en el perfil longitudinal del río (punto A)

-Ausente: En época de sequía dado que el NAF queda por debajo del punto A.  
Ver fig 19

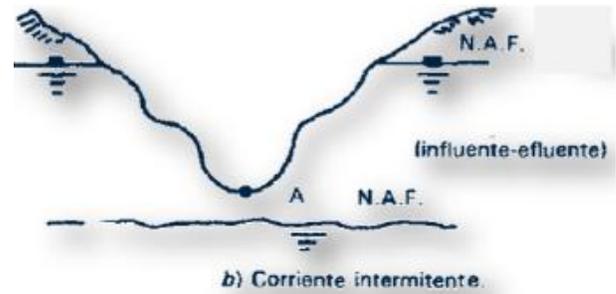


Figura 19 Gráfico; Corriente intermitente  
Imagen tomada del documento: Fundamentos de hidrología de superficie  
Aparicio Mijares 1992

➤ **Corrientes efímeras. (influente)**

**Tiempo en que el cauce transporta agua**

- En cualquier momento, inmediatamente después de una tormenta
- Esta situación produce (el escurrimiento superficial hacia el río)
- La recarga de los acuíferos

**Nivel de agua en su cauce**

-Presente: Inmediatamente después de una tormenta

-Ausente: Dado que el NAF de la zona siempre está por debajo de punto más bajo de cualquier sección transversal, que se tome en el perfil longitudinal del río.

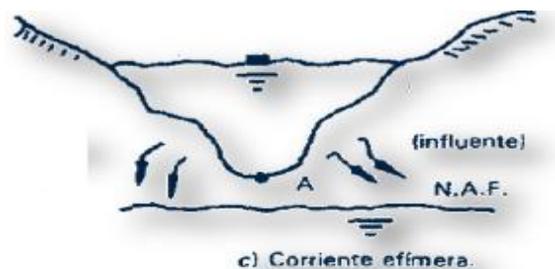


Figura 20 Gráfico; Corriente efímera  
Imagen tomada del documento: Fundamentos de hidrología de superficie  
Aparicio Mijares 1992

**Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca**

<p><b>Orden de la corriente.</b></p>	<p>Expresa la relación de jerarquía entre los diferentes tramos de las corrientes.                      -Se debe tener en cuenta la distribución del número de segmentos (Nu) de cada orden (u) que existe en la cuenca estudiada.                      Sobre un mapa de una cuenca cuidadosamente cartografiado:                      -Se asignan ordenes (u) a todos los segmentos de cauce.                      -Se cuenta el número de segmentos (Nu) de cada orden.                      -Se tabulan las cantidades obtenidas.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden de la corriente U</th> <th># de segm. (Nu)</th> <th>Relación de bifurcación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>139</td> <td rowspan="5">3,02</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Orden de la corriente U	# de segm. (Nu)	Relación de bifurcación	1	139	3,02	2	46	3	11	4	3	5	1
Orden de la corriente U	# de segm. (Nu)	Relación de bifurcación														
1	139	3,02														
2	46															
3	11															
4	3															
5	1															
<p><b>Relación de bifurcación.</b></p> $r_b = \frac{Nu}{N_{u+1}}$	<p>Es la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado, y los del orden inmediatamente superior (ordenes sucesivos)</p>	<p>Donde :                      u= orden de los segmentos del cauce                      Nu =número de segmentos de cauce de orden u.                      Nu+1=número de segmentos de cauce de orden inmediatamente superior.</p>														
<p><b>Densidad de drenaje.</b></p> $D_d = \frac{L}{A}$	<p>Es la relación de la suma de las longitudes de las corrientes (L) entre el valor del área (A) de la cuenca.</p>	<p>Donde :                      D<sub>d</sub>= densidad de drenaje en 1/km                      L = es la suma de las longitudes de las corrientes (km)                      A= área de la cuenca (km<sup>2</sup>)</p>														
<p><b>Elevación media de la cuenca</b></p> $E_m = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i)}{N}$	<p>Este parámetro mide la variación en elevación de una cuenca.                       Aplicando el método de las intersecciones se obtiene la elevación media de una cuenca.</p>	<p>Donde:                      E<sub>m</sub>= elevación media de la cuenca, en msnm.                      E<sub>i</sub>= elevación i asociada a la intersección i, en msnm.                      N= número total de intersecciones.</p>														
<p><b>Relación de circularidad (Rci).</b></p> $R_{ci} = \frac{4 \pi A}{P^2}$	<p>Es el cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca.</p>	<p>Donde:                      R<sub>ci</sub>= relación de circularidad, adimensional                      P= perímetro de la cuenca, en m                      A= superficie de la cuenca, en m<sup>2</sup>                      R<sub>ci</sub>= 1.0 la cuenca es circular                      R<sub>ci</sub>= 0.785 la cuenca es cuadrada</p>														

<p><b>Pendiente de la cuenca en ambas direcciones</b></p> $S_x = \frac{N_x D}{L_x}$ $S_y = \frac{N_y D}{L_y}$	<p>Mide la pendiente media en dos ejes principales (x, y). El método de mayor aplicación es el Horton y para estimar la pendiente media en la cuenca de análisis se traza una malla cuyo eje principal (x) siga aproximadamente el sentido del cauce principal.</p>	<p>Donde:                  D= desnivel constante entre curvas de nivel, en m.                  Lx y Ly = longitud total de líneas de malla comprendidas dentro de la cuenca en dirección x y dirección y, en m.                  Nx y Ny= número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla con las curvas de nivel en la dirección x y                  Sx y Sy= pendiente de la cuenca en la dirección x y dirección y, adimensional.</p>
<p><b>Pendiente media de la cuenca</b></p> $S_c = \frac{N D \sec \theta}{L}$	<p>A partir de la malla, se mide la longitud de cada línea de la malla comprendida dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.</p>	<p>Donde:                  L = Lx + Ly                  N = Nx + NyD = es el desnivel constante entre curvas de nivel, en m.                  θ = es el ángulo entre las líneas de la malla y las curvas de nivel.                  En aplicaciones prácticas se recomienda que θ = 1.57</p>
<p><b>Coefficiente de compacidad (Kc).</b></p> $Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	<p>Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca. Su magnitud se obtiene con la expresión:</p>	<p>Donde:                  Kc=coeficiente de compacidad, adimensional                  P= perímetro de la cuenca, en m                  A= superficie de la cuenca, en m<sup>2</sup>                  De acuerdo con aplicaciones realizadas en un gran número de cuencas, si:                  Kc= 1.128 se trata de una cuenca cuadrada,                  Kc= 3.0 las cuencas son muy alargadas,                  Kc= 1.481 la cuenca tiende a un cuadrado</p>
<p><b>Relación de elongación (Re).</b></p> $R_e = \frac{D}{L_m} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_m}$	<p>Es la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima (Lm) de la cuenca. La variable (Lm) se define como la más grande dimensión de la cuenca desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo del parteaguas.</p>	<p>Donde:                  Re= relación de elongación, adimensional                  D= diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca, en m.                  Lm= longitud máxima de la cuenca, en m.                  Re= 1.0 la cuenca es plana                  0.6 ≤ Re ≤ 0.8, la cuenca es de relieve pronunciado.</p>
<p><b>Pendiente media del cauce</b></p> $S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$	<p>La pendiente de un tramo de río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo.</p>	<p>Donde:                  S=pendiente media del cauce                  n=Número de tramos en que se divide la longitud del cauce principal.                  S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>,..., S<sub>n</sub> = Pendiente de cada tramo en que se divide el cauce principal.</p>

Tabla 6. Parámetros para caracterizar el sistema de drenaje de una cuenca

# **CAPÍTULO III**

**REGIONALIZACIÓN O  
IDENTIFICACIÓN  
DE CUENCAS EN LA  
REPÚBLICA MEXICANA**

## CAPÍTULO III

### ➤ REGIONALIZACIÓN O IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA

---

#### **Ríos principales**

---

Se puede afirmar que los ríos mexicanos, comparados con los ríos de otras partes del mundo, ofrecen características peculiares, tanto por su origen o nacimiento, que pueden ser pluvial, nivoso o mixto como por su perfil longitudinal, o bien por la disposición de sus cauces que se vierten en distintos mares.

En efecto, la mayoría de los ríos mexicanos son de origen pluvial, nacen con las aguas de las lluvias de verano y escurren caudalosos o torrenciales dentro de este periodo, para decrecer o secarse después de él. En las regiones del país donde el periodo de lluvias es más prolongado y abundante, como sucede en la llanura tabasqueña, los ríos son permanentemente caudalosos.

Los ríos de origen nivoso, propios de las regiones de altas latitudes, en México son pocos y de caudal escaso; estos ríos son así porque las áreas del terreno cubiertas de nieve, en el país, son sumamente reducidas. En cambio, en los países donde las nieves invernales son copiosas, los ríos tienen dos periodos de grandes avenidas: las de primavera, que se originan con los deshielos, y las de verano, que se alimentan con lluvias de estación.

En México, un ejemplo de río de origen nivoso lo constituye el Bravo, por lo que se

refiere al perfil longitudinal de los ríos, es decir, por lo que corresponde a la línea imaginaria que representa las diferencias de nivel de los ríos, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el mar, la mayoría de las corrientes de México son torrentosas, pues es notable el desnivel del terreno por donde cruzan tales corrientes, desde que nacen hasta su desembocadura en el mar.

En algunos países, los ríos se desarrollan en importantes, amplios y permanentes sistemas fluviales o sistemas hidrológicos; estos sistemas fluviales están formados por un conjunto de corrientes cuyas aguas confluyen con un río mayor o río eje que las conduce al mar. Estos sistemas fluviales no se localizan en México, la mayoría de nuestros ríos más caudalosos son receptores de afluentes de escasa y temporal corriente y fluyen paralelos entre sí, del interior del territorio hacia el mar.

Finalmente, es necesario apuntar que la importancia de los ríos es vital para la existencia de los pueblos, no sólo porque abastecen de agua para uso doméstico y para el riego de los campos de cultivo a las comunidades establecidas en sus riberas, los ríos cuando son viejos, constituyen magníficas y baratas vías de comunicación, y cuando son jóvenes se les representa como fuentes de energía hidroeléctrica.



## Las vertientes

Los ríos de México fluyen en tres vertientes: dos exteriores o exorreicas que son las del Atlántico y del Pacífico, y una interior o endorreica. Las vertientes están determinadas por las sierras Madre Occidental, del Sur y de Chiapas, como se explica en la figura 22.

La vertiente del Atlántico está formada por los ríos que desaguan en el Golfo de México y Mar de las Antillas; la del Pacífico, por los que escurren al oeste de las sierras antes citadas y por los ríos de la Península de Baja California que se precipitan al este sobre el Golfo de California y al Oeste sobre el propio Océano Pacífico. Estas últimas vertientes están determinadas por la sierra Californiana.

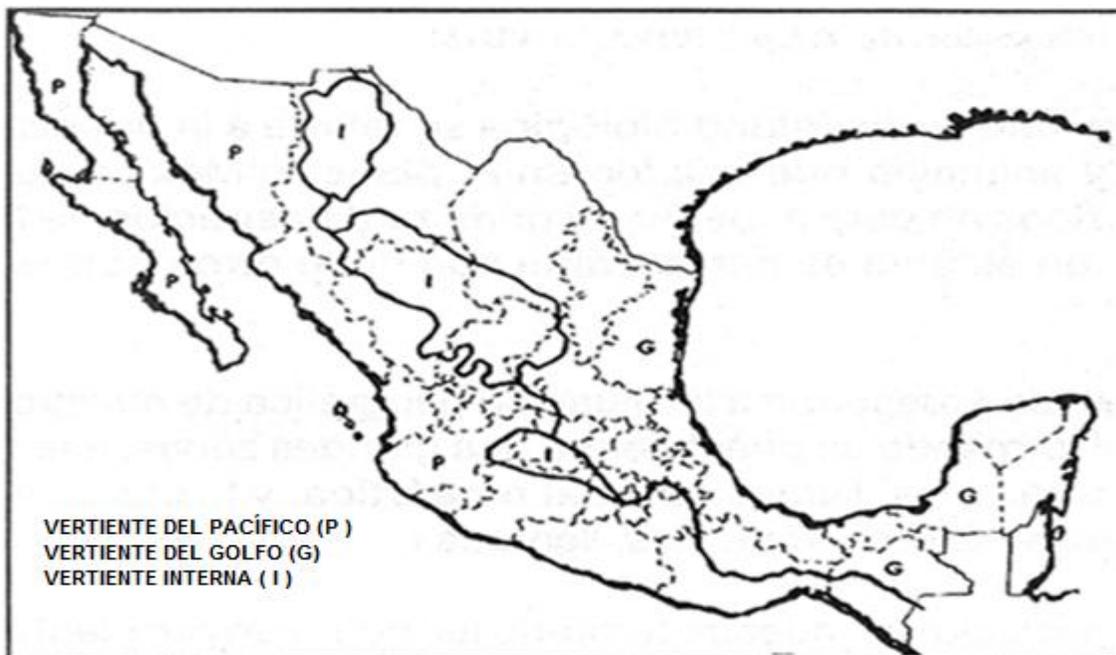
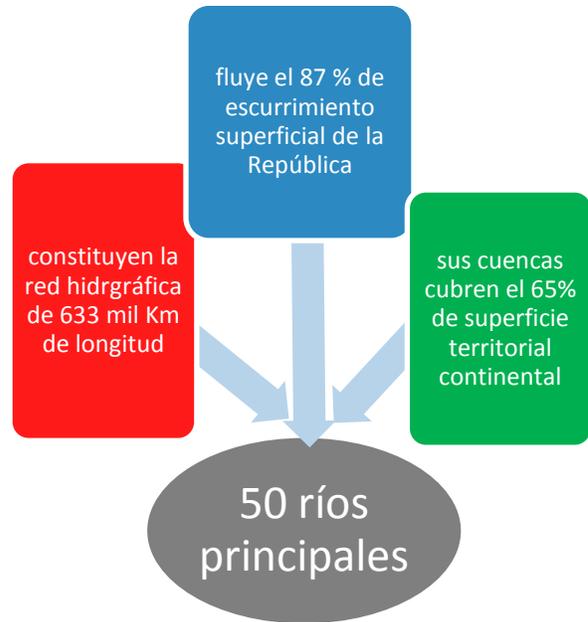
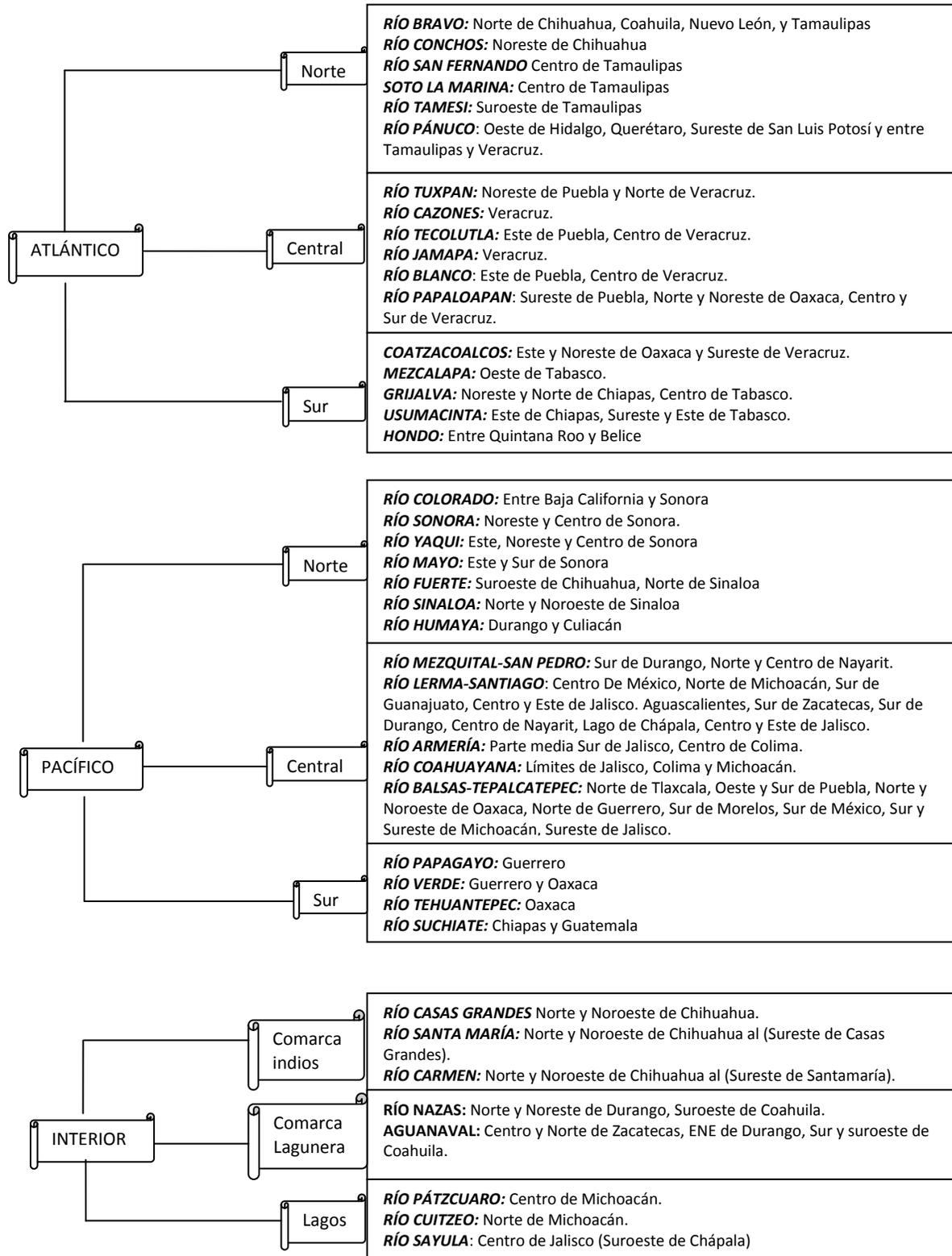


Figura 22 Gráfico Vertientes de la República Mexicana  
Imagen tomada del documento Cuencas Hidrológicas  
<http://www.pps.k12.or.us>

Tabla 7. Clasificación de vertientes y ríos



FUNDAMENTOS PARA DETERMINACION DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

Listado de ríos principales por vertiente							
No.	Río	Región hidrológica-administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial <sup>a</sup> (millones de m <sup>3</sup> /año)	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Longitud del río (km)	Orden máximo	Vertiente
1	Balsas	IV Balsas	16 587	117 406	770	7	Pacífico y Golfo de California
2	Santiago	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	7 849	76 416	562	7	Pacífico y Golfo de California
3	Verde	V Pacífico Sur	5 937	18 812	342	6	Pacífico y Golfo de California
4	Ometepec	V Pacífico Sur	5 779	6 922	115	4	Pacífico y Golfo de California
5	El Fuerte	III Pacífico Norte	5 176	33 590	540	6	Pacífico y Golfo de California
6	Papagayo	V Pacífico Sur	4 237	7 410	140	6	Pacífico y Golfo de California
7	San Pedro	III Pacífico Norte	3 417	26 480	255	6	Pacífico y Golfo de California
8	Yaquí	II Noroeste	3 163	72 540	410	6	Pacífico y Golfo de California
9	Culiacán	III Pacífico Norte	3 122	15 731	875	5	Pacífico y Golfo de California
10	Suchiate <sup>c,d</sup>	XI Frontera Sur	2 737	203	75	2	Pacífico y Golfo de California
11	Ameca	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	2 236	12 214	205	5	Pacífico y Golfo de California
12	Sinaloa	III Pacífico Norte	2 100	12 260	400	5	Pacífico y Golfo de California
13	Armería	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	2 015	9 795	240	5	Pacífico y Golfo de California
14	Coahuayana	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1 867	7 114	203	5	Pacífico y Golfo de California
15	Colorado <sup>b</sup>	I Península de Baja California	1 863	3 840	160	6	Pacífico y Golfo de California
16	Baluarté	III Pacífico Norte	1 838	5 094	142	5	Pacífico y Golfo de California
17	San Lorenzo	III Pacífico Norte	1 680	8 919	315	5	Pacífico y Golfo de California
18	Acaponeta	III Pacífico Norte	1 438	5 092	233	5	Pacífico y Golfo de California
19	Piactla	III Pacífico Norte	1 415	11 473	220	5	Pacífico y Golfo de California
20	Presidio	III Pacífico Norte	1 250	6 479	ND	4	Pacífico y Golfo de California
21	Mayo	II Noroeste	1 232	15 113	386	5	Pacífico y Golfo de California
22	Tehuantepec	V Pacífico Sur	950	10 090	240	5	Pacífico y Golfo de California
23	Coatán <sup>c</sup>	XI Frontera Sur	751	605	75	3	Pacífico y Golfo de California
24	Tomatlán	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	668	2 118	ND	4	Pacífico y Golfo de California
25	Marabasco	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	648	2 526	ND	5	Pacífico y Golfo de California
26	San Nicolás	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	543	2 330	ND	5	Pacífico y Golfo de California
27	Elota	III Pacífico Norte	506	2 324	ND	4	Pacífico y Golfo de California
28	Sonora	II Noroeste	408	27 740	421	5	Pacífico y Golfo de California
29	Concepción	II Noroeste	123	25 808	335	2	Pacífico y Golfo de California
30	Matape	II Noroeste	90	6 606	205	4	Pacífico y Golfo de California
31	Tijuana <sup>c</sup>	I Península de Baja California	78	3 231	186	4	Pacífico y Golfo de California
32	Sonoyta	II Noroeste	16	7 653	311	5	Pacífico y Golfo de California
33	Grijalva-Usamacinta <sup>d</sup>	XI Frontera Sur	115 536	83 553	1 521	7	Golfo de México y Mar Caribe
34	Papaloapan	X Golfo Centro	44 662	46 517	354	6	Golfo de México y Mar Caribe
35	Coatzacoalcos	X Golfo Centro	28 093	17 369	325	5	Golfo de México y Mar Caribe
36	Pánuco	IX Golfo Norte	20 330	84 956	510	7	Golfo de México y Mar Caribe
37	Tonalá	X Golfo Centro	11 389	5 679	82	5	Golfo de México y Mar Caribe
38	Tecolutla	X Golfo Centro	6 095	7 903	375	5	Golfo de México y Mar Caribe
39	Bravo <sup>d</sup>	VI Río Bravo	5 588	225 242	ND	7	Golfo de México y Mar Caribe
40	Jamapa	X Golfo Centro	2 563	4 061	368	4	Golfo de México y Mar Caribe
41	Nautla	X Golfo Centro	2 217	2 785	124	4	Golfo de México y Mar Caribe
42	La Antigua	X Golfo Centro	2 139	2 827	139	5	Golfo de México y Mar Caribe
43	Soto La Marina	IX Golfo Norte	2 086	21 183	416	6	Golfo de México y Mar Caribe
44	Tuxpan	X Golfo Centro	2 076	5 899	150	4	Golfo de México y Mar Caribe
45	Candelaria <sup>d</sup>	XII Península de Yucatán	2 011	13 790	150	4	Golfo de México y Mar Caribe
46	Cazones	X Golfo Centro	1 712	2 688	145	4	Golfo de México y Mar Caribe
47	San Fernando	X Golfo Norte	1 545	17 744	400	5	Golfo de México y Mar Caribe
48	Hondo <sup>e</sup>	XII Península de Yucatán	533	7 614	115	4	Golfo de México y Mar Caribe
49	Lerma <sup>f</sup>	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	4 742	47 116	708	6	Interior
50	Nazas-Aguanaval	VII Cuencas Centrales del Norte	1 912	89 239	1 081	7	Interior
Número de ríos: 50			336 948	1 250 099			

Tabla 8. Listado de principales ríos por vertiente

## Regionalización

La regionalización se apoya en el concepto fundamental de homogeneidad hidrológica en una región, es decir dividir la zona de estudio en regiones cuyas características topográficas, climáticas, orográficas etc., sean similares (homogeneidad estadística).

Se han desarrollado diferentes parámetros que permitan calcular eventos máximos para diferentes periodos de retorno en sitios donde no se tiene información de este tipo.

Las cuencas hidrográficas son delimitadas por las cimas más altas de los relieves.

De acuerdo con INEGI, INE, y CONAGUA el país cuenta con 1,471 cuencas, las cuales presentan una enorme variabilidad en tamaños: de miles a un kilómetro cuadrado. Al 31 de diciembre de 2010, se había publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la disponibilidad media anual de las 731 cuencas hidrológicas.

1. B.C. Noroeste	20. Costa Chica de Guerrero
2. B.C. Centro-Oeste	21. Costa de Oaxaca
3. B.C. Suroeste	22. Tehuantepec
4. B.C. Noreste	23. Costa de Chiapas
5. B.C. Centro-Este	24. Bravo-Conchos
6. B.C. Sureste	25. San Fernando-Soto La Marina
7. Río Colorado	26. Pánuco
8. Sonora Norte	27. Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla)
9. Sonora Sur	28. Papaloapan
10. Sinaloa	29. Coatzacoalcos
11. Presidio-San Pedro	30. Grijalva-Usumacinta
12. Lerma-Santiago	31. Yucatán Oeste
13. Río Huicicila	32. Yucatán Norte
14. Río Ameca	33. Yucatán Este
15. Costa de Jalisco	34. Cuencas Cerradas del Norte
16. Armería-Coahuayana	35. Mapimí
17. Costa de Michoacán	36. Nazas-Aguanaval
18. Balsas	37. El Salado
19. Costa Grande de Guerrero	

Tabla 9. 37 Regiones hidrológicas.

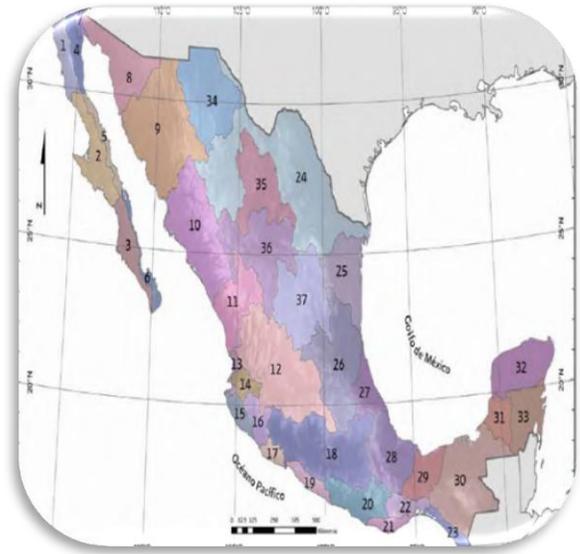


Figura 23 Gráfico; 37 regiones hidrologicas  
Imagen tomada del documento: Sistema de consulta de cuencas Hidrográficas en México 2009  
<http://www.agua.org.mx>

La agrupación de las cuencas se basa principalmente en rasgos orográficos e hidrográficos, las diversas cuencas hidrológicas son alimentadas principalmente con el 28% del agua de lluvia que se precipita anualmente en el territorio.

La precipitación pluvial que recibe el país es irregular tanto espacial como temporalmente; basta mencionar que la mitad del promedio anual de precipitaciones se registra en el Sureste y parcialmente en el centro y Pacífico central, extensión que equivale al 30% del territorio nacional, y en contraste, sólo un 30% del volumen medio anual de las precipitaciones se presenta en la mitad norte del territorio nacional.

Nombre de Región hidrológica	Extensión territorial continental (km <sup>2</sup> )	Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Escorrentamiento natural medio superficial interno (hm <sup>3</sup> /año)	Importaciones (+) o exportaciones (-) de otros países (hm <sup>3</sup> /año)	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm <sup>3</sup> /año)	Número de cuencas hidrológicas
1. B.C. Noroeste	28 492	249	359		359	16
2. B.C. Centro-Oeste	44 314	103	449		449	16
3. B.C. Suroeste	29 722	184	318		318	15
4. B.C. Noreste	14 418	190	105		105	8
5. B.C. Centro-Este	13 626	101	53		53	15
6. B.C. Sureste	11 558	274	219		219	14
7. Río Colorado	6 911	107	80	1 850	1 930	4
8. Sonora Norte	61 429	304	139		139	5
9. Sonora Sur	139 370	505	4 934		4 934	16
10. Sinaloa	103 483	713	14 350		14 350	23
11. Presidio-San Pedro	51 717	818	8 299		8 299	23
12. Lerma-Santiago	132 916	723	13 211		13 211	58
13. Río Huicicila	5 225	1 387	1 277		1 277	6
14. Río Ameca	12 255	1020	2 235		2 235	9
15. Costa de Jalisco	12 967	1 175	3 684		3 684	11
16. Armería-Coahuayana	17 628	908	3 985		3 985	10
17. Costa de Michoacán	9 205	888	1 612		1 612	6
18. Balsas	118 268	952	17 057		17 057	15
19. Costa Grande de Guerrero	12 132	1 234	6 091		6 091	28
20. Costa Chica de Guerrero	39 936	1391	18 714		18 714	32
21. Costa de Oaxaca	10 514	967	3 389		3 389	19
22. Tehuantepec	16 363	821	2 606		2 606	15
23. Costa de Chiapas	12 293	2 347	12 617	1 586	14 203	25
24. Bravo-Conchos	229 740	453	5 588	- 432	5 156	37
25. San Fernando-Soto La Marina	54 961	757	4 842		4 842	45
26. Pánuco	96 989	892	20 330		20 330	77
27. Norte de Veracruz	26 592	1 427	14 306		14 306	12
28. Papaloapan	57 355	1460	48 176		48 176	18
29. Coatzacoalcos	30 217	1 946	39 482		39 482	15
30. Grijalva-Usumacinta	102 465	1709	73 316	44 080	117 396	83
31. Yucatán Oeste	25 443	1 229	707		707	2
32. Yucatán Norte	58 135	1091	0		0	0
33. Yucatán Este	38 308	1 243	1 109	864	1 973	1
34. Cuencas Cerradas del Norte	90 829	404	1 701		1 701	22
35. Mapimí	62 639	361	957		957	6
36. Nazas-Aguanaval	93 032	425	1 912		1 912	16
37. El Salado	87 801	431	2 876		2 876	8
Total	1 959 248	760	331 086	47 949	379 034	731

Tabla 10. Características de las regiones

El país se ha dividido en 13 regiones hidrológico administrativas las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, sus límites respetan los municipales, para facilitar la administración e integración de la información socioeconómica y la creación de organismos de cuenca como parte de sus esfuerzos de descentralización de funciones.

Las diversas cuencas hidrológicas en el país son alimentadas principalmente con el 28% del agua de lluvia que se precipita anualmente en el territorio nacional (el restante retorna a la atmosfera mediante fenómenos de evaporación y transpiración).

RHA
I Península de Baja California
II Noroeste
III Pacífico Norte
IV Balsas
V Pacífico Sur
VI Río Bravo
VII Cuencas Centrales del Norte
VIII Lerma-Santiago-Pacífico
IX Golfo Norte
X Golfo Centro
XI Frontera Sur
XII Península de Yucatán
XIII Aguas del Valle de México

Tabla 11. División de las 13 regiones hidrológico administrativas



Figura 24 Gráfico; 13 regiones hidrológico dministrativas Imagen tomada del documento: Cuencas de Jalisco [www.cejalisco.gob.mx](http://www.cejalisco.gob.mx)

Cabe señalar que la precipitación pluvial que recibe el país es irregular tanto espacial como temporalmente; basta mencionar que la mitad del promedio anual de precipitaciones se registra en el Sureste y parcialmente en el centro y Pacífico central, extensión que equivale al 30% del territorio nacional, y en contraste, sólo un 30% del volumen medio anual de las precipitaciones se presenta en la mitad norte del territorio nacional.

➤ **Estaciones climatológicas en México**

Al 2012 México contaba con 3,817 estaciones oficiales en operación. Estas miden las variables climatológicas e hidrométricas que se registran en el país. 1,064 son estaciones de referencia de donde se obtienen datos que determinan el comportamiento normal del clima nacional. Actualmente se tiene una carencia de estaciones climatológicas de referencia en el noroeste, norte, noreste y

sureste del país, principalmente entre los estados de Chihuahua y Coahuila.

La Conagua cuenta con 4008 estaciones para medir las variables climatológicas e hidrométricas.

Las estaciones climatológicas miden la temperatura, evaporación, precipitación pluvial velocidad y dirección del viento.

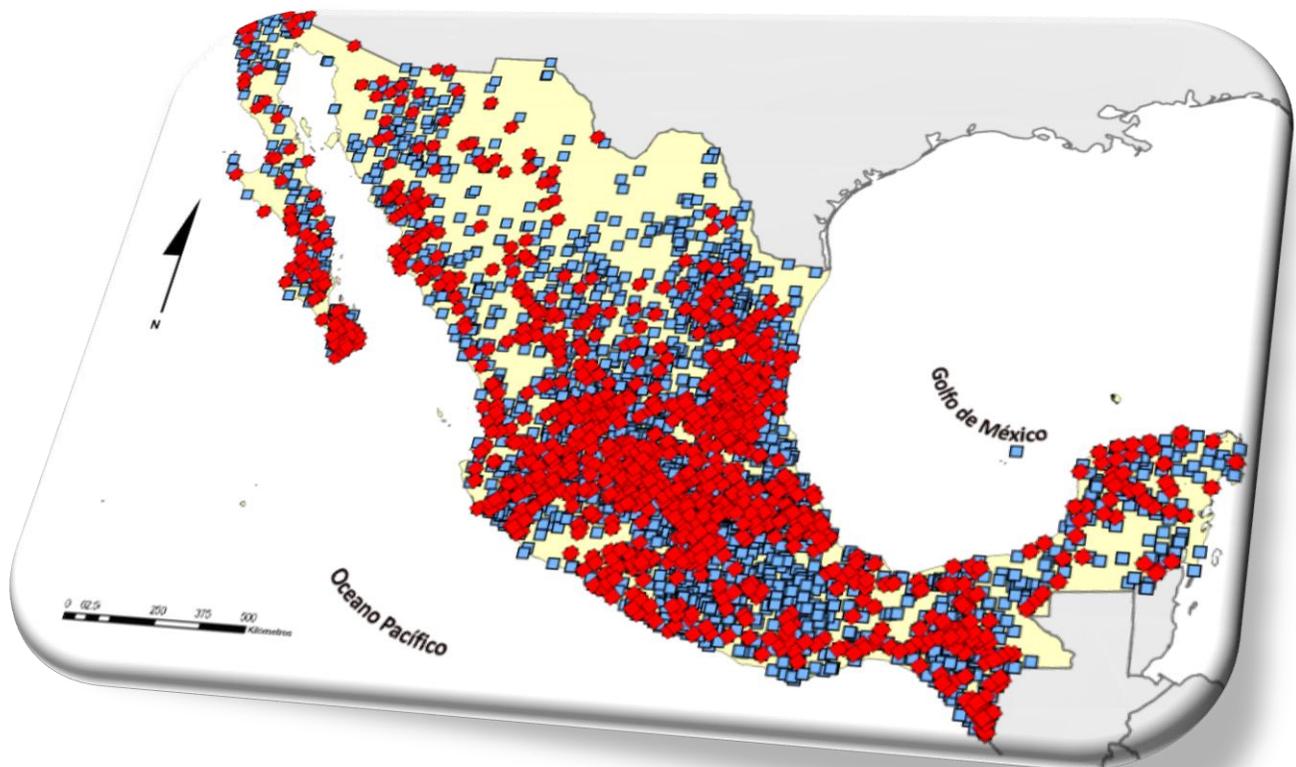
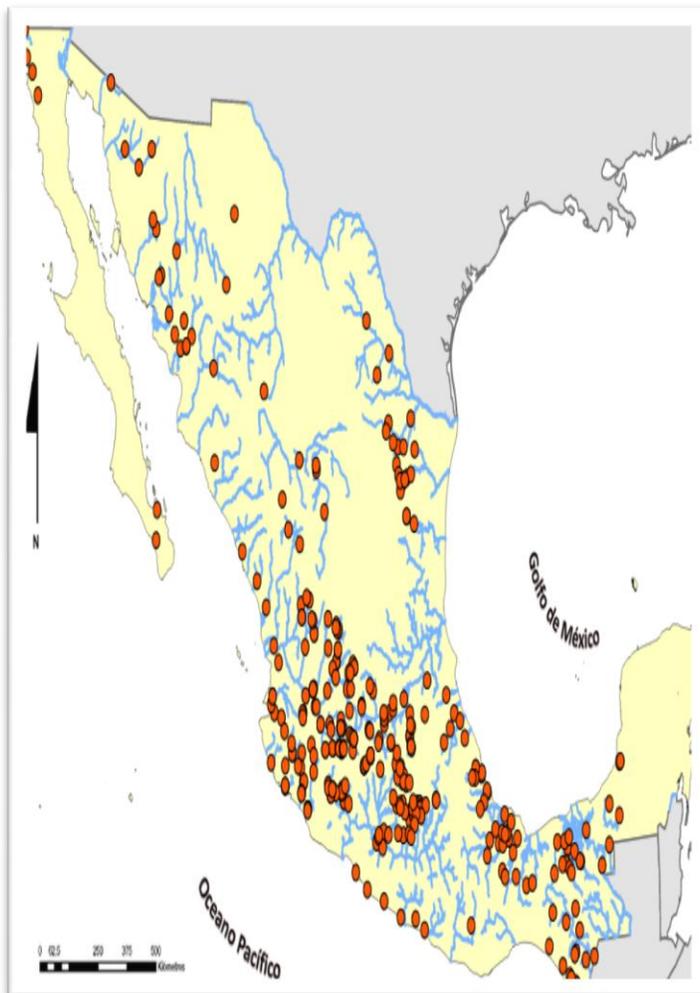


Figura 25  
Gráfico; Estaciones climatológicas  
Imagen tomada del documento: Red de estaciones climatológicas [http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/10/index\\_svg.html](http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/10/index_svg.html)

➤ **Estaciones hidrométricas**

Es un lugar fijo en una sección del río donde se realizan un conjunto de operaciones que permitan determinar el caudal circulante en momento y tiempo determinado.

El objetivo principal de la Red Hidrométrica es obtener una apreciación de la posibilidad de aprovechamiento del agua superficial, su distribución geográfica y su variabilidad en el tiempo.



En la actualidad México cuenta con 451 estaciones, estas miden la cantidad de agua que fluye y es almacenada en ríos, canales, tuberías y presas.

Sirven para conocer la cantidad, disponibilidad del recurso y su distribución entre usuarios, también registran algunos parámetros climatológicos.

Actualmente, el país presenta una marcada concentración de estaciones en las regiones hidrológicas administrativas IV, VIII, X y XI, en contraste con las regiones I, VI, VII, IX y XII.

La región VI presenta un importante faltante de estos equipos, ya que es el principal afluente del Río Bravo en la parte mexicana.

Se presentan datos, cuando existan: nivel de agua de los ríos, lagos y embalses (m), caudal o flujo de corrientes ( $m^3/s$  gasto medio diario), precipitación (mm), temperatura ( $^{\circ}C$ ).

Figura 26  
 Gráfico; Estaciones hidrométricas  
 Imagen tomada del documento: Red de estaciones climatológicas  
[http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/11/index\\_svg.html](http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/11/index_svg.html)

➤ **Red Hidrométrica Óptima**

A diferencia de la red pluviométrica, cuyo diseño es preponderantemente espacial, la red hidrométrica tiene un diseño lineal siguiendo el concepto dendrítico de la cuenca de un río y/o lineal, de zonas montañosas templadas, mediterráneas y tropicales; y regiones áridas y polares Tabla 12.

La red básica es aquella que no permite serias deficiencias en el desarrollo y administración de los recursos hídricos.

A veces se tienen redes hidrométricas instaladas con fines operativos o de estudios localizados (un embalse) cuya densidad no aporta datos adicionales que resulten significativos para el monitoreo general de la cuenca.

Los criterios de la OMM en relación con las condiciones geográficas e hidrológicas prevalentes, tales como la densidad de drenaje, catalogan las regiones en: regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales.

Tipo de regiones	Rangos normales Km <sup>2</sup> por estación	Rangos en condiciones difíciles Km <sup>2</sup> por estación
1.-Regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales.	1000 a 2500	3000 a 1000
2.-Regiones montañosas de zonas templadas y tropicales.	300 a 1000	.....
Cuencas montañosas de régimen irregular y precipitaciones concentradas	140 a 300	1000 a 5000
3.- Zonas áridas	5000 a 20000	.....

Tabla 12. Cuadro orientativo de densidad mínima de estaciones hidrométricas

➤ **Redes Pluviométricas**

El análisis de precipitaciones a diferencia del hidrométrico, es de carácter espacial. Los conceptos de regiones definidas física y climáticamente son igualmente válidos para estas redes.

La regionalización físico-climática se hace con superposición de mapas de cobertura vegetal, isoyetas, evapotranspiración potencial, etc. Existe otro tipo de regionalización, basada en el análisis estadístico de series de tiempo de precipitaciones que sólo es posible cuando existen buenos registros históricos de las variables a medir.

Partiendo del concepto de regiones físico-climáticas la OMM, establece para pluviometría, tres tipos: las regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales; las regiones montañosas de estas mismas zonas; y las zonas áridas tabla 13.

Para los dos primeros tipos, es necesario tener presente los casos de escasa población o mala comunicación.

En el caso de regiones montañosas, es de gran interés poner estaciones a distintas alturas por la variabilidad que generalmente existe.

Tipo de regiones	Rangos normales Km <sup>2</sup> por estación	Rangos en condiciones difíciles Km <sup>2</sup> por estación
1.-Regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales.	600 -900	900 a 3000
2.-Regiones montañosas de zonas templadas y tropicales.	100 a 250	250 a 1000
Cuencas montañosas de régimen irregular y precipitaciones concentradas	25	-----
3.- Zonas áridas	1500 a 10000	-----

Tabla 13. Cuadro orientativo de densidad mínima de estaciones pluviométricas, (OMM)

El cálculo del número de estaciones necesarias en un área, se puede estimar, con las tablas que se han indicado.

- **Redes Climáticas**

Las redes climáticas miden frecuentemente evaporación en tanque, temperatura, radiación, viento, humedad atmosférica y presión barométrica.

**En evaporación hay dos tipos de redes:**

Una de evaporación de cuerpos de agua (lagos, bañados, embalses), y otra de evaporación de tanque (Tipo A) para fines agrícolas ligada a estaciones climáticas para el cálculo de la evapotranspiración.

La red básica, debe asegurar datos para evaluar la evaporación en condiciones climáticas diversas: desiertos, zonas húmedas, semiáridas, bosques, áreas bajo riego Tabla 14.

Zona	Rango
Árida	1 de cada 30000 Km <sup>2</sup>
Templada húmeda	1 de cada 50000 Km <sup>2</sup>
Frías	1 de cada 100000 Km <sup>2</sup>

Tabla 14. Rango de densidad mínima de estaciones evaporación, (OMM)

# CAPÍTULO IV

**MÉTODOS PARA  
DETERMINACIÓN  
DE AVENIDAS MÁXIMAS  
PARA CUENCAS  
NO AFORADAS**

## CAPÍTULO IV

### ➤ MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE AVENIDAS MÁXIMAS PARA CUENCAS NO AFORADAS

Se entiende, que una cuenca no aforada es aquella que no ha sido medida calculada, marcada o investigada con una precisión en el caudal y como ende su escurrimiento de esta misma.

Para conocer el gasto de diseño de operación de las obras hidráulicas se requiere de datos de escurrimiento en el lugar donde ellas están localizadas; sin embargo, en ocasiones no se cuenta con esta información o bien, por cambios en las condiciones de drenaje de la cuenca como es, por ejemplo, la deforestación, la urbanización, entre otros; pueden hacer que los datos de los gastos recabados antes de esos cambios no sean útiles.

Por otra parte, debido a que es más complicado obtener datos de escurrimiento de las corrientes que de precipitación, debido a que no existen en la zona en estudio estaciones hidrométricas y se cuenta con mayor cantidad de información de lluvias. Por estas razones se han propuesto metodologías para inferir escurrimientos a partir de la precipitación que los origina, aplicables a cuencas no aforadas.

A los procedimientos indirectos se les conoce como modelos lluvia-escurrimiento. Para su estudio se les puede clasificar, de acuerdo con la información que requieren para su aplicación, de la manera siguiente:

#### Métodos empíricos

Son de dos tipos, en uno se necesita para su aplicación únicamente de las características fisiográficas de la cuenca donde está la corriente de interés y en el otro, además de las características, se usan datos de precipitación.

Estos métodos arrojan resultados poco confiables, pues proporcionan el gasto prácticamente con base en las características fisiográficas, por lo que sólo deben emplearse cuando no se disponga de información sobre las precipitaciones o los escurrimientos dentro de la cuenca en estudio, o bien para tener una idea preliminar de los escurrimientos que podrían ocurrir y programar los trabajos de campo.

- ***Hidrograma Unitario***

Se debe contar por lo menos con un registro simultáneo de la precipitación y del escurrimiento que ésta produjo.

- ***Simulación del escurrimiento de la cuenca***

Se necesita las características detalladas de la cuenca y de datos hidrológicos simultáneos en toda ella.

- **Selección del Período de retorno ( $T_r$ )**

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra, de acuerdo con la ecuación de Weibull:

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

Donde:

m = número de orden

n = número de observaciones, años o meses

- **Curvas altura de precipitación-área-duración ( $hp - A - d$ )**

Las curvas altura de precipitación – área – duración, (ver fig. 27), sirven para determinar el potencial de precipitación que existe en una zona dada y, además constituyen uno de los métodos más simples que existen para transponer tormentas de un sitio a otro.

Este análisis trata de establecer las cantidades máximas de precipitación que se producen en diferentes áreas y para diferentes duraciones, con base en una red de estaciones que registran simultáneamente la precipitación durante una tormenta dada.

Las tormentas seleccionadas deberán ser las más desfavorables que hayan ocurrido en la zona y el resultado del análisis anterior permite la construcción de las curvas de altura de precipitación-duración-área.

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

- a) Dibujar las curvas masa de las estaciones que cuentan con pluviógrafo.
- b) Trazar los polígonos de Thiessen para las estaciones pluviográficas.
- c) Dibujar las isoyetas correspondientes a la altura de precipitación total de la tormenta media tanto con estaciones pluviográficas como pluviométricas
- d) Calcular el área encerrada entre dos isoyetas consecutivas y el parteaguas de la cuenca, así como la precipitación media en esa área. Para las isoyetas próximas al

- parteaguas, el área será la encerrada entre la isoyeta y el parteaguas.
- e) Superponer el plano de isoyetas al de los polígonos de Thiessen (incisos c y b) respectivamente y calcular la porción del área de influencia de cada estación pluviográfica localizada entre cada dos isoyetas.
  - f) Determinar la curva masa media correspondiente al área encerrada por cada isoyeta y el parteaguas, partiendo de la de mayor precipitación como si esta fuera una cuenca.
  - g) Seleccionar diferentes duraciones que en general pueden ser múltiplos de 6h, aunque el intervalo puede variar en función del área de la cuenca.
  - h) Para cada duración, seleccionar los máximos incrementos de precipitación de las curvas masa calculadas en el (inciso f), de manera que estén situados en intervalos de tiempos contiguos.
  - i) Se dibujan los datos de área, altura de precipitación y duración en una gráfica. En el eje de las abscisas se presentan las alturas de precipitación en mm, en una escala aritmética, en el de las ordenadas se muestran las áreas en kilómetros cuadrados, en escala logarítmica por último se dibujan las envolventes a los puntos que corresponden a la misma duración.

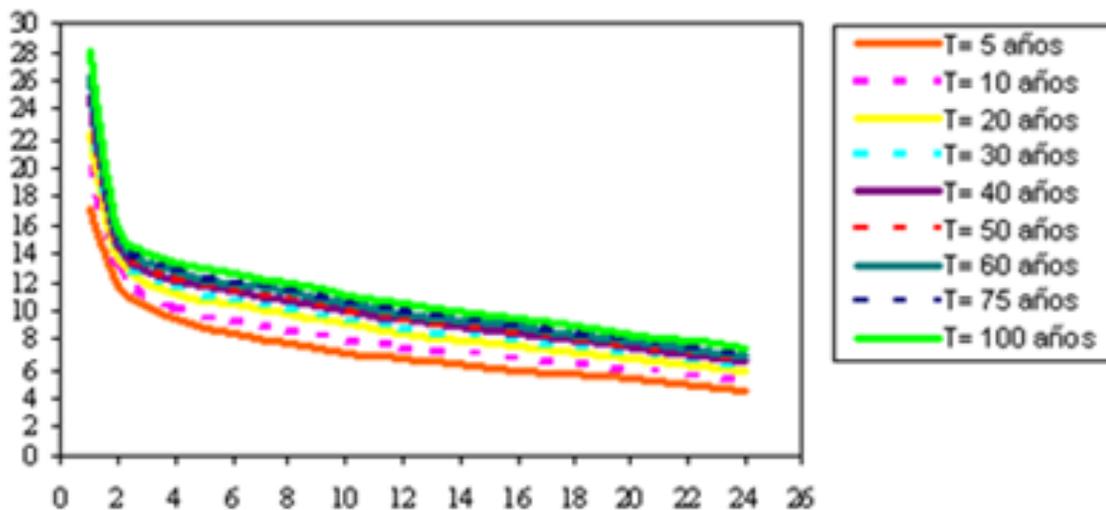


Figura 27  
 Gráfico: curvas Hp-A-d (altura de precipitación-área-duración,  
 Imagen tomada del documento construcción de curvas en zonas semiáridas de Chile Central  
<http://www.fao.org>

- **Intensidad Máxima de Lluvia (i)**

El cálculo hidrológico de la avenida de diseño en estructuras cuya cuenca es pequeña, como son: presas de almacenamiento; derivación o control de avenidas; alcantarillas y puentes pequeños; obras de drenaje agrícola y urbano, se deberá basar el análisis en la información disponible sobre lluvias máximas de la zona y en las características físicas de la misma.

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) son básicas en todo análisis hidrológico para la estimación de avenidas máximas por métodos empíricos e hidrológicos. En la actualidad, ya se cuenta con las curvas IDF de todo el país editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) y se encuentran disponibles en su portal de internet.

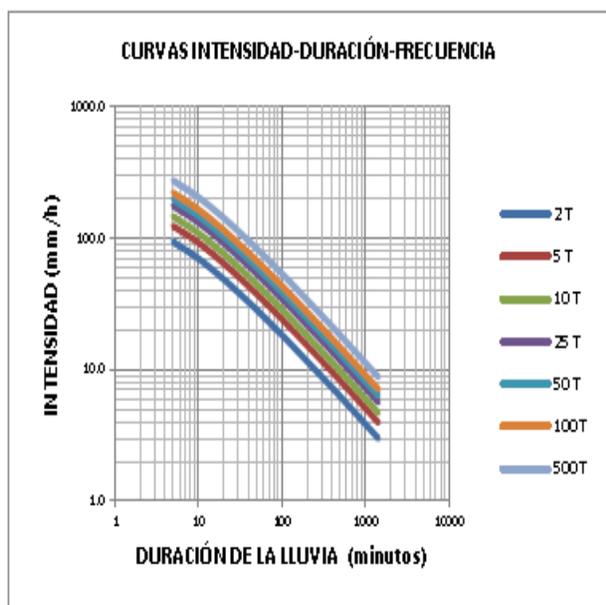


Figura 28  
Gráfico Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia  
Imagen tomada Diseño de obras pequeñas  
<http://www.Sagarpa.com>

- **Tiempo de concentración (Tc)**

Para poder hacer uso de las curvas IDF, es necesario conocer el tiempo de concentración de la lluvia, que se define como el tiempo que pasa desde el final de la lluvia neta, hasta el final de la escorrentía directa. Representa el tiempo que tarda en llegar al aforo la última gota de lluvia que cae en el extremo más alejado de la cuenca y que circula por escorrentía directa. Por lo tanto, el tiempo de concentración sería el tiempo de equilibrio o duración necesaria para que, con una intensidad de escorrentía constante; se alcance el caudal máximo.

El tiempo de concentración se calcula mediante la ecuación:

$$t_c = \frac{L}{3600 v}$$

Donde:

$t_c$ =tiempo de concentración, h.  
 $L$ =longitud del cauce principal de la cuenca, m.  
 $v$ =velocidad media del agua en el cauce principal, m/s.

Pendiente (%)	Bosques (en la porción superior de la cuenca)	Pastizales (en la porción superior de la cuenca)	Cauce natural no muy bien definido
0-3	0.3048	0.4572	0.3048
4 - 7	0.6096	0.9144	0.9144
8 - 11	0.9144	1.2192	1.524
12 - 15	1.0668	1.3716	2.4384

Tabla 15. Velocidad media del agua (m/s) en cauces

Otra manera de estimar el tiempo de concentración es mediante la fórmula de Kirpich.

Para calcular con este método el gasto máximo correspondiente a un periodo de retorno, se procede como sigue:

Con la longitud del cauce principal (L) y la pendiente media del cauce principal ( $S_c$ ), se calcula el tiempo de concentración ( $t_c$ ), que es el tiempo requerido para que el agua escurra desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio donde se construirá el puente, mediante la fórmula de Kirpich:

$$tc = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S_c^{0.385}}$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración, (h)

L = Longitud del cauce principal, (km)

$S_c$  = Pendiente media del cauce principal, adimensional.

- **Lluvia media de diseño**

Se emplea la fórmula propuesta por E. Kuishling y C. E Gransky, la cual se apega a las curvas de máxima intensidad:

$$Hp_d = \frac{K Tc^{1-e}}{1-e}$$

Donde:

$Hp_d$  = Lluvia media de diseño, mm

K = Coeficiente adimensional

$Tc$  = Tiempo de concentración

e = coeficiente que depende del tiempo de concentración adimensional

De acuerdo a los valores de referencia los valores de "e" se presentan a continuación:

e	Tc (h)	Descripción
0.45 a 0.50	≥ 48	Cuencas muy grandes
0.50 a 0.55	48 a 24	Cuencas grandes
0.55 a 0.60	24 a 6	Cuencas medianas
0.60 a 0.70	6 a 1	Cuencas chicas
0.70 a 0.80	< 1	Cuencas muy pequeñas

Tabla 16. Valores de "e" para diferentes tiempos de concentración

Es posible determinar el valor del coeficiente K a partir de la  $e_c$  para lluvia media de diseño:

$$K = \frac{Hp_d (1 - e)}{24^{1-e}}$$

La lámina de lluvia en exceso se determina empleando la ecuación siguiente:

$$He = \frac{10 \left[ \frac{Hp_d}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{\frac{Hp_d}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

## ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA MÁXIMA O ESCURRIMIENTO MÁXIMO

El método que se use dependerá de los siguientes factores:

- 1) Disponibilidad de datos hidrométricos en el sitio de la obra o cerca de ella.
  - 2) De las dimensiones del proyecto y la magnitud de los daños que ocasionaría el fracaso de la obra.
- **Sin construcciones ni cultivos aguas abajo.**

La capacidad de la obra de excedencias en este caso puede estimarse por simple inspección de las huellas de aguas máximas en el cauce, en puentes, alcantarillas o en sitios donde la observación sea fácil y perfectamente delimitada. Para la determinación de la avenida máxima en este caso, puede usarse el método de sección y pendiente, eligiendo un tramo recto del cauce de 200 m de longitud, aproximadamente, donde puedan obtenerse las secciones hasta las huellas de aguas máximas. Se comparará el caudal así determinado, con el que se obtenga al tomar un 25% del calculado por medio de la fórmula de *Creager*, que se expone más adelante. Este caudal máximo será definitivo si no se dispone de otros elementos de juicio.

- **Con construcciones y cultivos aguas abajo.**

Como en el caso anterior, comparar el valor del método de la sección y pendiente, con el obtenido de tomar el

50% del calculado por la fórmula de *Creager*.

### Método de las envolventes de Creager para gasto máximo

Uno de los métodos más conocidos es el desarrollado por *Creager*, es el método empírico, que se aplica en cuencas mayores de treinta (30) kilómetros cuadrados y para su desarrollo relacionó los gastos máximos observados en el mundo respecto al área de la cuenca donde ocurrieron.

Posteriormente, al trazar una línea que envuelve a todos los gastos máximos obtuvo una curva representada por una ecuación del tipo siguiente:

$$Q_p = 1.303 (C_c (0.386 A_c))^{\alpha} A^{-1}$$

$$\alpha = \frac{0.936}{A_c^{0.048}}$$

Donde:

Q= Gasto de la avenida máxima en m<sup>3</sup>/ s

C= valor del coeficiente para las 37 diferentes regiones hidrológicas de México

A= Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

El valor mundial de C es igual a 100.

**Envolvente mundial de Creager**

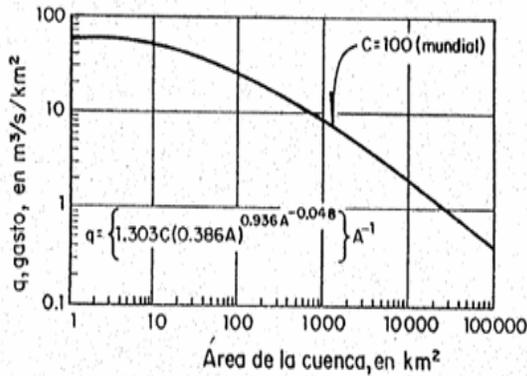


Figura 29  
 Gráfico: *Envolvente mundial de Creager*  
 Imagen tomada del documento. Estimación de creciente de diseño <http://www.scielo.org.mx>

**Método de las envolventes de Lowry para gasto máximo**

Otro método de envolventes que se utiliza con frecuencia es el de Lowry y la expresión matemática que lo define es:

$$q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}}$$

Donde:

- q = gasto máximo unitario, en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>;
- A<sub>c</sub> = área de la cuenca, en km<sup>2</sup>;
- C<sub>L</sub> es la constante de Lowry

La figura 30 muestra para México la envolvente general definida por el método de Lowry para la envolvente mundial se puede tomar un valor de CL=3500. De manera similar para el método de Creager, la SARH encontró los valores de CL para las 37 regiones hidrológicas.

Para el caso específico de la República Mexicana, se ha evaluado los valores de la constante C para cada una de las 37 Regiones Hidrológicas que se han establecido en nuestro país.

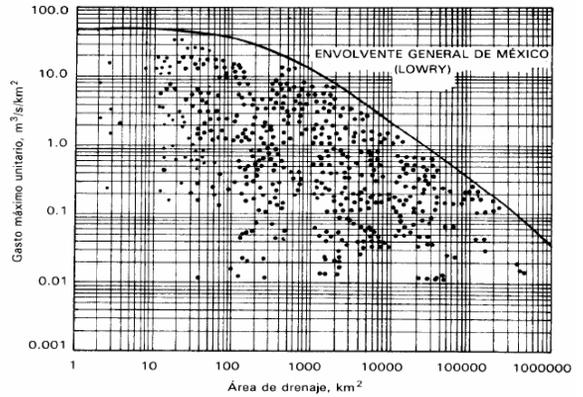


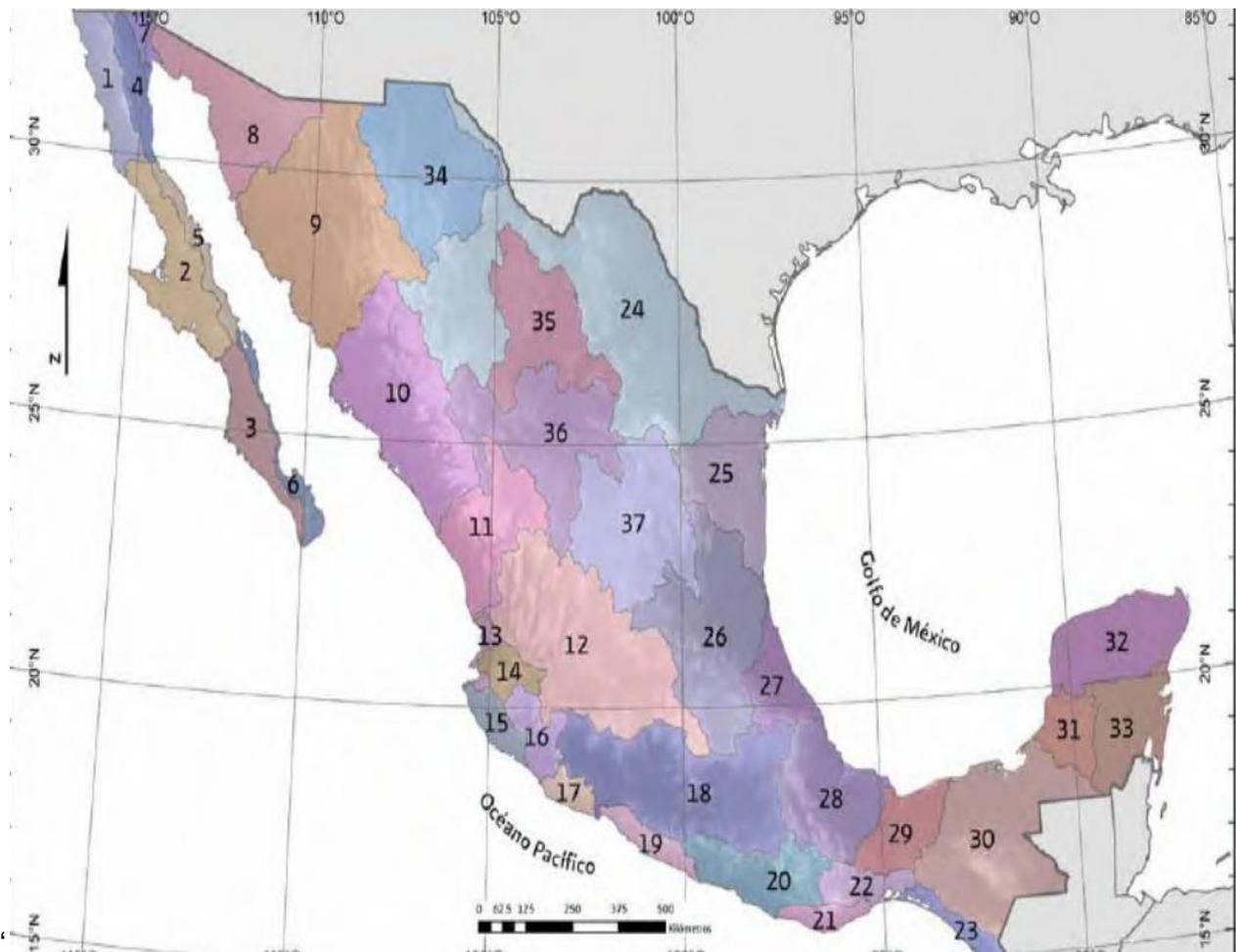
Figura 30  
 Gráfico: *Envolvente de Lowry*  
 Imagen tomada del documento. Estimación de creciente de diseño <http://www.scielo.org.mx>

**REGIONES HIDROLÓGICAS**

1. BAJA CALIFORNIA NOROESTE (ENSENADA)
2. BAJA CALIFORNIA CENTRO OESTE (EL VIZCAINO)
3. BAJA CALIFORNIA SUROESTE (MAGDALENA)
4. BAJA CALIFORNIA NORESTE (LAGUNA SALADA)
5. BAJA CALIFORNIA CENTRO ESTE (STA. ROSALÍA)
6. BAJA CALIFORNIA SURESTE (LA PAZ)
7. RÍO COLORADO
8. SONORA NORTE
9. SONORA SUR
10. SINALOA
11. PRESIDIO-SAN PEDRO
12. LERMA-SANTIAGO
13. HUICICILA
14. AMÉCA
15. COSTA DE JALISCO
16. ARMERÍA-COAHUYANA
17. COSTA DE MICHOACÁN
18. BALSAS
19. COSTA GRANDE

**REGIONES HIDROLÓGICAS**

20. COSTA CHICA-RÍO VERDE
21. COSTA DE OAXACA (PUERTO ANGELES)
22. TEHUANTEPEC
23. COSTA DE CHIAPAS
24. BRAVO CONCHOS
24. BAJO BRAVO
24. BRAVO (AMISTAD-FALCÓN)
25. SAN FERNANDO SOTO LAMARINA
26. PANUCO
27. TUXPAN-NAUTLA
28. PAPALOAPAN
29. COATZACOALCOS
30. GRIJALVA-USUMACINTA
31. YUCATÁN OESTE (CAMPECHE)
32. YUCATÁN NORTE (YUCATÁN)
33. YUCATÁN ESTE (QUINTANA ROO)
34. CUENCAS CERRADAS DEL NORTE (CASAS GRANDES)
35. MAPIMI
36. NAZAS-AGUANAVAL
37. EL SALADO



Replica de Figura 23. Gráfico; 37 REGIONES HIDROLÓGICAS  
 Imagen tomada del documento: Sistema de consulta de cuencas Hidrográficas en México 2009  
[www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx)

FUNDAMENTOS PARA DETERMINACION DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

En la siguiente tabla se muestra la distribución de cada región hidrológica, el coeficiente que corresponde a cada región y las corrientes principales que comprenden los diferentes Estados de la República y parte de EU.

No.	REGIONES HIDROLÓGICAS	Valores de "C"	CORRIENTES PRINCIPALES	ESTADOS COMPRENDIDOS
		CREAGER		
1,2,3,4,5,6	Baja California Norte	30	Tijuana, Guadalupe, Sto. Domingo. Ríos E.U.A. Sta. Ana, Los Ángeles, San Gabriel, Little Tujunga, Cañon-Saw Pit, Colorado, Gila, Otay, Sweet Water, San Diego.	Baja California Norte California (USA) Arizona (USA)
	Baja California Sur	72	Tinaja, San Ignacio, San José de Gracia, San Gregorio, Purísima, Comondú, Sto. Domingo, Soledad, Colorado, Carrizal, Mulejé, Sta. Águeda, San José del Cabo.	Baja California Sur
7	Cuenca Del Río Colorado	14	Colorado, Gila.	Arizona (USA)
<b>NOROESTE</b>				
8,9	Sonora Norte Sonora sur (parcial)	35	Sonorita, Concepción, Sonora, Guaymas, Matape, Yaqui, Cocoraqui, Mayo	Sonora y Chihuahua
9,10,11	Sonora Sur, Sinaloa, Presidio-San Pedro(parcial)	64	Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Chico Ruíz, Culiacán, San Lorenzo, Elota, Salado, Piaxtla, Quelite, Presidio, Baluarte, Las Cañas, Acaponeta, Bejuco.	Sinaloa, Chihuahua, Nayarit
11	Durango (Presidio-San Pedro)	8.4	Ríos: San Pedro, Cuatimapé. Afluentes: La Saucedá, El Tunal, Coapanco, Santiago, Poanas, Suchil.	Durango y Zacatecas
<b>CUENCA DEL RÍO LERMA</b>				
12	Zona Río Santiago	19	Río Santiago y sus Afluentes: Verde, Juchipilo, Bolaños, Huaynomota.	Jalisco, Nayarit, Zacatecas, Aguascalientes, Michoacán y Guanajuato.
	Zona Río Lerma Chapala	16	Río Lerma Y sus Afluentes: Oztolotepec, Tepetitlán, Tarandacuao, Tigres, La Laja, Guanajuato, Silao, Turbio, Duero. Lago de Chapala y sus Afluentes: Sahuayo, La Pasión, Zula	México, Michoacán, Guanajuato, Jalisco y Querétaro.
13,14,15,16,17	<b>Pacífico centro</b> Huicicila, Ameca, Costa de Jalisco, Armería- Coahuayana Costa de Michoacán	10	San Blas, Huicicila, Ameca, Tomatlán, San Nicolás, Ouixmala, Purificación, Cihuatlán, Armería, Coahuayana, Istala, Nexpa, Chuta, Carrizal.	Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán.
17	Cuencas de Cuitzeo y Pátzcuaro Costas de Michoacán	6.8	Río Queréndaro.	Michoacán.

FUNDAMENTOS PARA DETERMINACION DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

No.	REGIONES HIDROLÓGICAS	Valores de "C"	CORRIENTES PRINCIPALES	ESTADOS COMPRENDIDOS
<b>CUENCA DEL RÍO BALSAS</b>				
18	Zona bajo Balsas	32	Río Balsas y sus Afluentes: Ajuchitlán, Alahuixtlán, Cutzamala, Tacámbaro, Tepalcatepec.	Michoacán, México, Guerrero y Jalisco.
	Zona alto Balsas	18	Río Balsas y sus Afluentes: Atoyac, Mixteco, Tlapaneco, Amacuzac, Tepecoacuilco, Cocula	Puebla, Tlaxcala, Guerrero, Morelos, México y Oaxaca.
19,20,21, 22,23	<b>Pacífico Sur</b> Costa Grande Costa chica-Río Verde Costa de Oaxaca (Puerto Ángel) Tehuantepec Costa de Chiapas	62	Oxmitlán, Ixtapa, San Jeronimito, Petatlán, Coyuquila, San Luis, Teoapan, San Jerónimo, Coyuca, Sabana, Atoyac, Papagayo, Ojipa, Sta. Catarina, Verde, Tehuantepec, De los Perros, Chicapa, Sto. Domingo, Nilttepec, Ostuta, Coapan, Hixtla, Cahuacán y Suchiate	Guerrero, Oaxaca y Chiapas.
<b>CUENCA DEL RÍO BRAVO</b>				
24	Zona Río Conchos	23	Florido, San Pedro, Bravo, Conchos.	Texas (USA), Chihuahua Durango.
	Zona Río Salado y San Juan	91	Bravo, San Diego, Salado, San Juan, Arroyo Pinto.	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Texas (USA).
25	<b>Golfo Norte</b> San Fernando - Soto la Marina.	61	Camacho Purificación, San Fernando y Soto la Marina.	Tamaulipas y Nuevo León.
<b>CUENCA DEL RÍO PÁNUCO</b>				
26	Zona Alto Pánuco	14	Río Panuco y sus Afluentes: Enramadas, Tula, San Juan del Río.	México, Hidalgo, San Luis Potosí y Querétaro.
	Zona Bajo Pánuco	67	Axtla, Tamesí, Pánuco, Tamapache, Tamiahua, De las Charcas, Palo Gordo, Carvajal, Tancochin, Tempoal, San Miguel, Milpillas, Tropaón. Moctezuma,	Guanajuato, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Tamaulipas y Nuevo León.
	Río Metztlán	37	Río Metztlán	Hidalgo
	Valle de México	19	Sordo, Cuautitlán, Tlalnepantla, Churubusco, de la Magdalena.	México, D.F,
27	<b>Golfo Centro</b> Tuxpan-Nautla	59	Tuxpan, Cazonos, Tecolutla, Nautla, Calipa, Sta. Ana, , Juchique, Platanar, Actopan, La Antigua, Jamapa, Higuera del Pato.	Veracruz y Puebla.
28	Cuenca del Río Papaloapan	36	Ríos: Papaloapan, Usila, Blanco. Afluentes: San Juan Evangelista, Tesechoacán, Valle Nacional, Sto. Domingo, Tonto.	Veracruz, Puebla y Oaxaca
29	<b>Golfo Sur</b> Coatzacoalcos	36	Ríos: Papaloapan, Usila, Coatzacoalcos, Tonalá.	Veracruz, Tabasco y Oaxaca.

FUNDAMENTOS PARA DETERMINACION DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

No.	REGIONES HIDROLÓGICAS	Valores de "C"	CORRIENTES PRINCIPALES	ESTADOS COMPRENDIDOS
30	Sistema Grijalva – Usumacinta	50	Ríos: Cintal, Soyatengo, Grijalva, Usumacinta.	Tabasco, Chiapas y Yucatán
31,32,33	Península de Yucatán	37	Chumpan, San Pedro, Candelaria, Champotón, Hondo	Yucatán, Campeche, Tabasco y Quintana Roo
34	Cuencas cerradas del Norte (Zona Norte) Casas grandes	4	Bravo, Casas Grandes, Sta. María, El Carmen.	Chihuahua, Texas (USA), New México (USA).
35	Bolson de Mapimí	-----	No se tiene datos por no existir corrientes superficiales de importancia	-----
36	Cuencas cerradas del Norte (Zona Sur) Nazas-Aguanaval	26	Nazas, Aguanaval	Durango, Zacatecas y Coahuila
37	El Salado	45	Alaquines, San Luis Potosí	San Luis Potosí, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas.

Tabla 17. Coeficiente de Creager para las 37 regiones, Tomada del documento. Hidrología aplicada

Coeficiente de Lowry de acuerdo a cada una de las regiones hidrológicas en que se divide el país.

Región Hidrológica No.	Descripción	Coeficiente de Lowry
1	Baja California Noroeste	980
2	Baja California Centro-Oeste	530
3	Baja California Suroeste	2,190
4	Baja California Noreste	1,050
5	Baja California Centro- Este	990
6	Baja California Sureste	5,120
7	Río Colorado	1,050
8	Sonora Norte	760
9	Sonora Sur	2,140
10	Sinaloa	3,290
11	Presidio- San Pedro Zona Costera	4,630
11	Presidio- San Pedro Zona Alta	470
12	Lerma- Santiago	1,290
13	Río Huicicila	760
14	Río Ameca	600
15	Costa de Jalisco	5,270
16	Armería- Coahuayana	4,940
17	Costa de Michoacán	2,100
18	Balsas Alto	1,090
18	Balsas Medio y Bajo	4,450
19	Costa Grande de Guerrero	2,100
20	Costa Chica de Guerrero- Río Verde	3,180
20	Alto Río Verde	390
21	Costa de Oaxaca	3,000
22	Tehuantepec	2,170
23	Costa de Chiapas	1,190
24 A	Alto Bravo- Conchos	1,020
24 B	Medio Bravo	5,170
24 C	Río Salado	1,410
24 D	Bajo Bravo	2,130
25	San Fernando- Soto La Marina	2,330
26 A	Alto Panuco	1,360
26 B	Bajo Panuco	3,010
26 C	Valle de México	760
27	Tuxpan-Nautla	2,450
28	Papaloapan	1,750
29	Coatzacoalcos	1,840
30	Grijalva-Usumacinta	2,130
30	Alto Grijalva	610
31	Yucatán Oeste	370
32	Yucatán Norte	ND
33	Yucatán este	ND
34	Cuencas cerradas del Norte	230
35	Mapimí	ND
36	Nazas	1,510
36	Aguanaval	380
37	El Salado	1,310

Tabla 18. Coeficiente de Lowry para las 37 regiones

**Método de las curvas numéricas o del SCS (USA).**

Para estimar el escurrimiento medio por evento y el máximo instantáneo se utiliza el método de las curvas numéricas, el cual utiliza los datos de precipitación por evento o la precipitación máxima para un periodo de retorno deseado y el máximo potencial de retención del agua del suelo como se presenta en la ecuación 4.1.

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + (0.8 S)} \quad \text{ec. (4.1)}$$

$$Q > 0 \text{ Si } 0.2 S \leq P; \quad \text{si no } Q = 0$$

Donde:

- Q = Escurrimiento medio (mm).
- P = Precipitación por evento (mm).
- S = Retención máxima potencial (mm).

Como el potencial máximo de retención de agua del suelo (S) depende de las condiciones del suelo, vegetación y manejo del cultivo, entonces es factible relacionarlo con las curvas numéricas.

El potencial máximo de retención (S) se puede obtener de acuerdo a la siguiente relación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

- S=Potencial máximo de retención (mm).
- CN=Curvas numéricas (adimensional).

• **Curvas numéricas (CN)**

Las curvas numéricas son similares al coeficiente de escurrimiento y fueron obtenidas por el Servicio de Conservación de Suelos basados en la observación de hidrogramas procedentes de varias tormentas en diferentes cuencas de los Estados Unidos. Estas curvas dependen del tipo de suelo, condición hidrológica de la cuenca, uso del suelo y manejo y la condición de humedad antecedente.

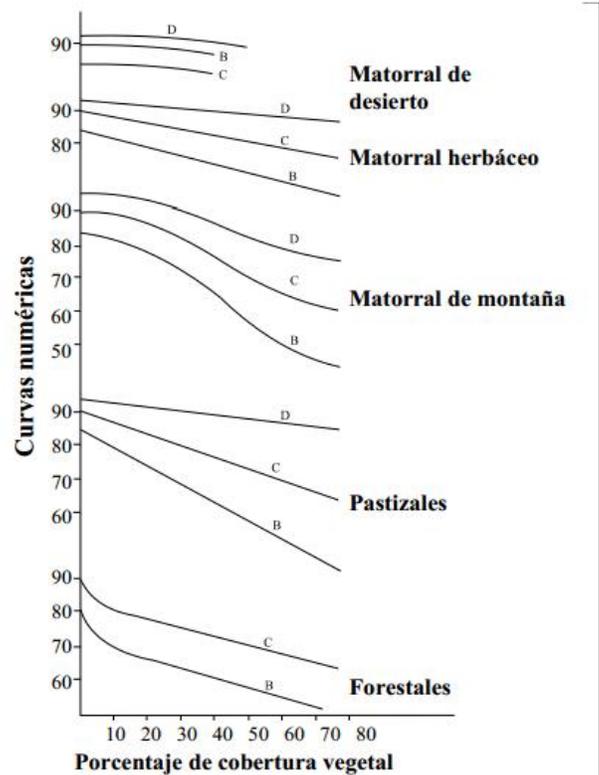


Figura 31  
Gráfico: Curvas numéricas  
Imagen tomada del documento. Estimación de creciente de diseño <http://www.scielo.org.mx>

- **Grupos de suelos**

Utilizando las características texturales de los suelos (>3000) el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) clasificó a aquellos en cuatro grupos de acuerdo con sus características hidrológicas para producir escurrimiento como se muestra en la tabla 19.

Grupo de suelos	Descripción de las características del suelo
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8-12 mm/h
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento, suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm/h
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm/h

Tabla 19. Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS.

- **Condiciones hidrológicas del área de drenaje**

Este indicador de la cubierta vegetal y su variación depende de la densidad de la cobertura, de tal manera que se agrupan en los tres grupos indicados a continuación:

Condición hidrológica:	Cobertura
Buena	> 75 %.
Regular	50 % - 75 %.
Mala.	< 50 %

Tabla 20. Condiciones hidrológicas del área de drenaje.

Como la vegetación es clasificada de acuerdo con su porte, el tipo de vegetación influye en la condición hidrológica y ella varía con el uso del terreno se muestra en la tabla 20.

- **Uso del suelo**

La utilización de los terrenos ya sea como áreas de cultivo, pastizales y bosque tienen influencia en el escurrimiento y esto es más notorio cuando además de la cubierta vegetal se desarrollan tratamientos al suelo o se realizan sistemas de siembra en hilera, tupidos en surcos rectos o al contorno.

Los valores CN para diferentes condiciones hidrológicas y tipos de suelo como aparecen en la tabla 21.

Cobertura			Grupo de suelos			
Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Curva numérica			
Suelo en descanso	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivo de escarda	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	65	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curva a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curva a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curva a nivel	Buena	55	69	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curva a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curva a nivel	Buena	6	35	70	79
Pasto de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino de tierra		Buena	72	82	87	89
Camino pavimentados		Buena	74	84	90	92

Tabla 21. Curva numérica (CN) para estimar el escurrimiento bajo diferentes complejos suelo - cobertura y manejo condición de humedad II.

- **Humedad antecedente**

Es de esperarse que el escurrimiento aumente a medida que se existe mayor humedad del suelo al momento de presentarse la tormenta. Por esa razón, en este método la condición de humedad del suelo producto de los cinco días previos a la tormenta que son considerados y agrupados en tres grupos, lo que le da un carácter dinámico a la estimación del escurrimiento Tabla 22.

Condición de humedad antecedente	Precipitación acumulada de los cinco días previos al evento (mm)
I	0 - 12.7
II	12.7 – 38.1
III	> 38.1

Tabla 22. Condición de humedad antecedente como función de la precipitación.

Cuando se ha seleccionado el valor de CN de la tabla 21, se obtiene un valor que está dado por la condición de humedad antecedente intermedia (II), por tal razón, se deben considerar los datos de precipitación de los cinco días previos al evento que se desea utilizar para la predicción del escurrimiento, y si esto es menor de 12.7 mm la condición de humedad antecedente es seca (I) y en la

tabla 23, se busca el nuevo valor de CN que corresponde a esta condición. Cuando la precipitación es mayor de 38.1 mm, se busca el valor de la condición de humedad antecedente es húmeda (III).

CN CORRESPONDIENTE A		
Condición I	condición II	Condición III
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78

35	55	74
31	50	70
26	45	65
22	40	60
18	35	55
15	30	50
12	25	43
9	20	37
6	15	30
4	10	22
2	5	13

Tabla 23. Curvas numéricas para condiciones de humedad antecedentes húmeda (III) y seca (I) a partir de las condiciones de humedad media.

En caso de no contar con la tabla 23, los valores de CN (I) y CN (III), se pueden estimar a partir de CN (II) utilizando las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$CN (I) = \frac{4.2 CN (II)}{10 - 0.058 CN (II)} \text{ ec. 4.3}$$

$$CN (III) = \frac{23 CN (II)}{10 + 0.13 CN (II)} \text{ ec. 4.4}$$

➤ **Escurrimiento medio**

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen y para lograrlo deben seguirse los pasos siguientes:

1. Se obtiene el valor del coeficiente de escurrimiento (C), de la tabla 24 de acuerdo con los tipos de suelos, uso del suelo y pendiente.
2. Cuando el área de drenaje presenta diferentes tipos de suelos, vegetación y pendiente media. El coeficiente de escurrimiento (C), se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado para aplicarlo en la ecuación.
3. Se obtiene el área de drenaje por medio de cartas topográficas, fotografías aéreas o por un levantamiento directo en el campo.
4. Se localiza el área en estudio en los mapas de isoyetas medias anuales de la República Mexicana, y se determina la precipitación media anual.
5. Con esos valores se determinan los volúmenes medios anuales escurridos.

En el caso de requerir mayor precisión en los cálculos se recurre a la estación meteorológica más cercana al área de estudio y se obtienen los registros anuales y/o mensuales de precipitación pluvial media.

6. Con esta información se procede a calcular los volúmenes medios escurridos mediante la ecuación

Uso del suelo y pendiente del terreno	Textura del suelo		
	Gru esa	Media	Flna
<b>Bosque</b>			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
<b>Pastizales</b>			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
<b>Terrenos cultivados</b>			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

Tabla 24. Coeficiente de escurrimiento según tipo de suelo

- **Escurrimiento máximo instantáneo**

El escurrimiento máximo se puede estimar asumiendo un hidrograma triangular y utilizando el escurrimiento medio estimado con la ecuación 4.1, el área de drenaje, la duración del exceso de lluvia y el tiempo de concentración, como se muestra en la ecuación 4.5

$$Q_p = \frac{0.0021 Q A}{\frac{1}{2} D + 0.6 T_c} \quad \text{ec 4.5}$$

Donde:

- Q<sub>p</sub>=Escurrimiento máximo (m<sup>3</sup>/s)
- Q=Escurrimiento medio (mm)
- A= Área de drenaje (ha)
- D=Tiempo de duración del exceso de lluvia (h)
- T<sub>c</sub>=Tiempo de concentración (h)

La duración del exceso de lluvia puede asumirse como el tiempo de duración de la tormenta y el tiempo de concentración que son los minutos que tarda el escurrimiento para moverse de la parte más alta de la cuenca o área de drenaje a la salida; este tiempo se puede estimar de acuerdo con la ecuación 4.6

$$T_c = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} \quad \text{ec 4.6}$$

Donde:

- T<sub>C</sub> = Tiempo de concentración (minutos).
- L = Longitud de la corriente principal (m).
- H = Diferencia en elevación entre el sitio más alejado de la cuenca y la salida (m).

**Quando no sea posible obtener los datos de excesos de lluvia o duración de la tormenta, se puede utilizar la ecuación 4.7**

$$Q_p = \frac{\alpha P A}{360} \quad \text{ec 4.7}$$

Donde:

- Q<sub>p</sub> = Escurrimiento máximo instantáneo (m<sup>3</sup>/s)
- α= Coeficiente de escurrimiento (Q/P)
- P = Precipitación (mm)
- A = Área de drenaje (ha)
- 360 = Factor de ajuste de unidades

La precipitación que se utiliza debe convertirse a intensidad de la lluvia; para lo cual, la precipitación utilizada para la obtención del escurrimiento máximo, debe dividirse entre el tiempo de concentración que se obtiene de la ecuación 4.6.

## Método de la Comisión Nacional del Agua (CNA)

Se trata de encontrar ecuaciones que relacionen los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  con las variables fisiográficas y climatológicas de las cuencas.

$$\alpha = e^{C1} A^{C2} L^{C3} S^{C4} P^{C5} I^{C6}$$

$$\beta = e^{D1} A^{D2} L^{D3} S^{D4} P^{D5} I^{D6}$$

Donde:

$e = 2.7182$

A= área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

L= longitud del cauce principal (km)

S= Pendiente del cauce principal

P = Precipitación media anual (mm)

I= Precipitación máxima en 24 hr para un Tr de 10 años (mm)

Lo anterior se logra con una correlación múltiple

Con los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se calcula el gasto máximo correspondiente a un Tr sin requerir aforo.

$$Q_{m\acute{a}x} = \beta - \alpha \ln \left( -\ln \frac{(Tr - 1)}{Tr} \right)$$

En la tabla siguiente se muestran los parámetros de distribución de Gumbel que se aplican en la fórmula anterior.

Región	ALFA $\alpha$						BETA $\beta$					
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>
1	10.6600	-2.8984	5.8659	2.4569	-1.4186	1.7175	90.2360	-21.980	52.490	7.8390	-36.430	18.1330
2	5.7660	0.1782	-0.3180	-1.7261	0.1716	0.1384	2.0438	-0.6719	1.4690	-0.4877	1.0489	-1.6383
3	7.9340	9.1804	-8.6333	-12.873	3.3143	-27.018	1.3020	3.5444	-2.777	-2.9182	1.7585	-9.4910
4	36.7290	-7.4694	10.2077	4.2745	-1.1380	1.1341	11.5455	-2.3923	3.5808	1.0073	-0.2284	0.3037
5	10.7412	1.4942	-2.5148	-1.4934	-0.3046	-1.7936	17.5038	0.3742	-0.412	-0.6384	-0.1789	-2.7253
6	0.4000	3.4358	-4.9680	-4.5257	-10.396	9.7345	-9.9501	7.4522	-11.56	-8.0100	-16.629	16.5098
7	3.1329	-0.1652	-0.8653	-1.8947	-0.3277	-0.0308	5.8252	0.0251	-1.742	-1.9152	-0.5344	0.3181
8	52.7586	0.3326	5.4729	2.0828	-1.8623	12.7201	-57.644	1.1137	3.2301	1.7273	-2.5156	12.7381
9	16.1269	-0.9649	1.8258	-0.2321	1.3272	-4.4669	31.4014	-0.5721	-0.194	0.9300	-6.4182	5.0795
10	-3.2648	-0.4816	1.3514	0.0260	1.3463	-0.6706	-5.7492	-0.1730	0.5089	-0.7480	0.5825	0.4768
11	162.327	0.0654	7.4498	3.5443	-39.694	18.4358	180.179	-0.1363	9.3336	4.1671	-44.713	20.7915
12	15.1297	0.5454	0.1355	0.9381	-0.5861	-1.5663	11.2318	0.2839	0.5642	0.8704	-0.7464	-0.4568
13	-33.3400	3.2440	-4.1772	-0.1646	4.0143	1.1096	-36.645	2.2839	-3.319	-0.5982	5.1020	0.3551
14	-17.4458	0.4179	0.3152	0.0734	3.2091	-0.1279	-1.4262	0.4414	1.0444	1.6852	1.1977	-0.2286
15	-6.5574	0.5304	0.3288	0.0302	1.4129	-0.4972	-10.945	0.7172	0.5084	0.1674	0.3909	1.5161
16	7.4054	-1.3819	1.7892	-0.1166	-0.8992	0.7877	7.4037	-0.8497	0.9737	-0.0126	-0.3049	0.1257
17	0.6890	0.0962	-0.0761	-0.4229	-0.2526	0.3365	2.5162	-0.1589	-0.513	-0.4099	-0.0174	0.1739
18	7.7429	0.0106	-1.2995	-0.4273	-2.0419	3.0840	3.5915	0.2216	0.5580	0.1831	-0.2846	-0.0212
19	121.64	-1.4074	1.7990	-1.2051	14.9067	3.8191	44.6806	0.5963	-0.673	-0.5855	-4.8429	-1.6175
20	9.1637	0.6853	1.0521	-0.0224	1.1705	2.3711	-4.1580	1.3108	-1.266	0.0984	-0.3547	1.9153
21	0.9768	0.4998	-0.2551	0.4471	-0.3787	1.3042	0.1804	0.4341	-0.155	0.3912	0.4038	0.2476
22	24.2475	11.9327	-11.632	7.3956	2.4515	2.6256	0.5227	-0.5608	0.6585	0.4751	0.1927	0.4269
23	11.9164	1.6457	4.0078	0.4279	-0.3686	1.3801	9.4567	-0.3818	2.7791	0.8050	0.3510	1.5107

Tabla 25. Parámetros de distribución de Gumbel

## Método de las huellas máximas

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente, en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforo para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida.

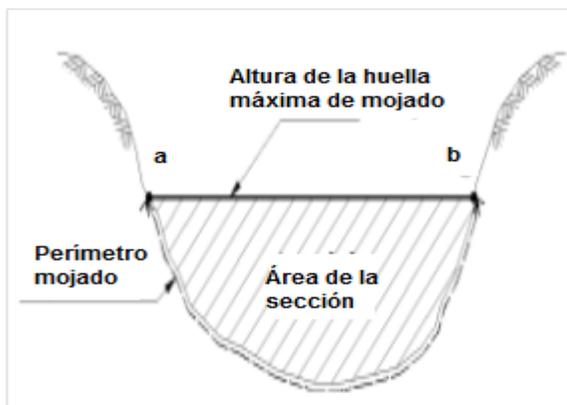


Figura 32  
Gráfico: Elementos de una sección transversal  
Tomada del documento. Hidrología aplicada.  
<http://www.Sagarpa.gob.mx>

Según la fórmula de Manning, la velocidad es

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

Donde:

R = Radio hidráulico, m.

$S_f$  = Pendiente de la línea de energía específica.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

**De la ecuación de continuidad se tiene que:**

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Gasto de la avenida máxima en  $m^3/s$

A = Área hidráulica,  $m^2$

V = Velocidad, m/s

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

## Métodos semiempíricos

Los métodos semiempíricos se aplican cuando se dispone de información que caracterice la precipitación, la que relacionada con las características fisiográficas de la cuenca en estudio, permite calcular la magnitud de los escurrimientos en el sitio donde se proyecte la nueva estructura, para los periodos de retorno que se establezcan.

Estos métodos arrojan resultados más confiables que los métodos empíricos, particularmente si la respuesta de la cuenca a una precipitación es rápida, deben emplearse siempre que se disponga de información sobre las precipitaciones dentro de la cuenca en estudio.

Estos métodos proporcionan el escurrimiento debido a la precipitación, por lo que, si la corriente en el cauce es perenne, los gastos máximos que se determinen con ellos se corrigen adicionándoles el gasto de dicha corriente (gasto base), para obtener los que han de utilizarse en el diseño hidráulico de la estructura, los más utilizados son:

- Método Racional,
- Método de Horton.
- Método de Chow.

## **Método sección pendiente o área pendiente.**

La aplicación de este método no obstante que las avenidas producen flujos espacialmente variados, en algunos casos es posible y/o necesario analizar estos flujos con los concepto de flujo uniforme permanente, por lo cual, se justifica el empleo del enfoque sección-pendiente cuando los cambios en el valor de forma son menores al 30 %.

Para aplicar el método área-pendiente, se requiere la siguiente información:

- Un tramo de canal lo suficientemente largo, donde no existan afluentes ni efluentes.
- El cambio de elevación del agua a través del tramo (pendiente longitudinal del agua).
- Estimación del coeficiente de rugosidad del tramo.

### ➤ **Lineamientos para la selección del tramo**

1. Disponibilidad de marcas de nivel de la avenida en el tramo. Una sección transversal en roca, aunque es fácil de medir, no es útil por la falta de marcas de escurrimiento en ella.
2. Se debe buscar un tramo lo más recto y uniforme posible. De no ser posible, elegir de preferencia un tramo con la sección de aguas abajo en contracción y no en expansión.
3. Evitar tramos donde existan condiciones locales: curvas horizontales, puentes, estructuras, etc.

4. La longitud del tramo según Dalrymple y Benson debe cumplir con los siguientes lineamientos: **a)** la longitud debe ser por lo menos de 75 veces el tirante medio de la primer sección transversal localizada; **b)** la caída de la superficie del agua debe ser igual o mayor que la carga de velocidad dos, es decir:

$$\Delta h = \frac{V_2^2}{2g}$$

**c)** la caída debe ser de por lo menos 0.15m, el método área-pendiente no se aplica a tramo que incluyan caídas libres.

5. Realizar un recorrido por las márgenes del cauce, tanto hacia aguas arriba como aguas debajo del punto de interés, para localizar marcas de máximo escurrimiento.

6. Una vez localizadas la marca de máximo escurrimiento, se debe calcular:

- Área hidráulica
- Perímetro mojado total y parcial
- Rugosidades
- Tirante medio

7. Buscar una segunda sección transversal con marcas de máximo escurrimiento, a una longitud mínima de  $L= 75$ , tomando en cuenta que entre las dos secciones no existan:

- Curvas
- Caídas
- Afluentes
- Efluentes, obstáculos (escombros, pilas de puentes, cercas, construcciones, etc.).

8. Una vez localizada la segunda sección, efectuar los mismos cálculos del paso 6.

9. Calcular la pendiente de la superficie libre del agua, con las elevaciones previamente medida de las marcas de máximo escurrimiento.

10. Calcular los coeficientes de conducción (**K**), para cada sección:

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

11. Calcular el factor de forma, el cual para que proceda el método, no debe exceder del 30%:

$$Ff = \frac{K_M - K_m}{K_M} * 100$$

Donde:

( $K_M$  y  $K_m$ )=representación de los coeficientes de **conducción mayor y menor**.

12. Calcular el factor geométrico medio de forma para el tramo.

$$K_{\text{medio}} = \sqrt{K_1 K_2}$$

13. Estimar el gasto pico, de orden cero, mediante la ecuación siguiente:

$$Q^0 = K_{\text{medio}} \sqrt{S_0}$$

14. Calcular la aproximación de primer orden del gasto, mediante la refinación de la estimación de la pendiente de energía.

$$S^1 = S^0 + k \left[ \frac{\alpha_1 \left( \frac{v_1^2}{2g} \right) - \alpha_2 \left( \frac{v_2^2}{2g} \right)}{L} \right]$$

Donde:

$K$ = es factor de corrección por contracción /=expansión. Si el tramo se expande  $V_1 \geq V_2$  entonces  $k = 0.5$ . Si el tramo se contrae  $V_1 \leq V_2$  entonces  $k = 1.0$  entonces:

$$Q_1 = k_{\text{medio}} \sqrt{S^1}$$

15. Se repite el paso 15 hasta que:

$$Q^{n-1} \approx Q^n$$

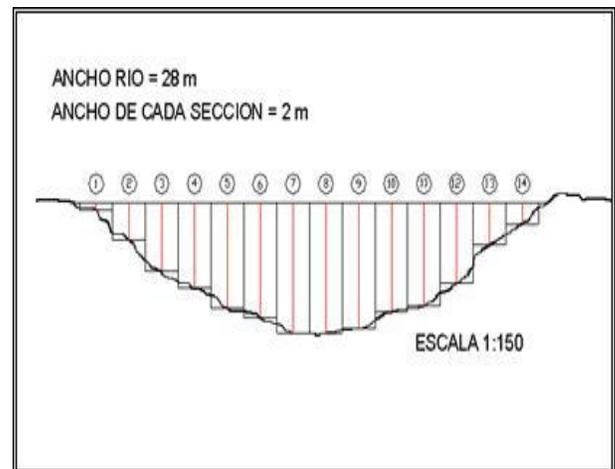


Figura 33  
Gráfico: Elementos de una sección transversal  
Tomada del documento. Hidrología aplicada.  
<http://www.Sagarpa.gob.mx>

## Modelos existentes para el cálculo de precipitación-escorrimento

**M**odelos que requieren únicamente las principales características físicas promedio de la cuenca en estudio. A este grupo se le conoce como “Modelos Empíricos de la Relación Lluvia-Escorrimento”, los que han sido obtenidos relacionando mediciones simultáneas de lluvia y de escurrimento con las características de las cuencas.

**M**odelos para los que es necesario contar con registros simultáneos de precipitación y escurrimento. A este grupo se le conoce como “Modelos Hidrológicos” o de caja negra, los cuales se calibran a partir de los datos de ingreso y salida de la cuenca sin tomar en cuenta explícitamente sus características físicas.

**M**odelos para los que se debe disponer de las características físicas detalladas de la cuenca; así como los registros simultáneos de precipitación y escurrimento. A este grupo pertenecen los modelos que a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la hidráulica, pretenden simular el proceso de escurrimento en toda la cuenca.

### ➤ **Fórmula Racional**

La fórmula racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrimento. Su origen se remonta a 1851 o 1889, de acuerdo con diversos autores. Este modelo toma en

cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día muy utilizado, particularmente en el diseño de drenajes urbanos.

Este método asume que el máximo porcentaje de escurrimento de una cuenca pequeña, ocurre cuando la totalidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimento, y que el citado porcentaje de escurrimento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio, el procedimiento de cálculo consiste básicamente en determinar el coeficiente de escurrimento. Este método es aplicable a cuencas con área de hasta veinticinco (25) kilómetros cuadrados, aunque también se puede aplicar en cuencas hasta de cien (100) kilómetros cuadrados, considerando que el grado de confiabilidad disminuye al incrementarse el área.

La fórmula racional es el método más usado para el caso de cuencas de  $A < 10 \text{ Km}^2$ .

La ecuación que define la fórmula racional es:

$$Q_p = 0.278 (C) (i) (A) \text{ ó } Q_p = \frac{(C_e)(i)(A_c)}{360}$$

Donde:

$Q_p$  = gasto máximo  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $C_e$  = coeficiente de escurrimento, adim.  
 $i$  = Intensidad máxima de lluvia para un periodo de retorno dado,  $\text{mm}/\text{h}$   
 $A_c$  = área de la cuenca,  $\text{km}^2$   
 $360$  = factor de ajuste de unidades  
 $0.278$  = factor de conversión.

Tabla 26. Valores del coeficiente de rugosidad (n) de Manning para cauces naturales.

Tipo de Canal	Mínimo	Medio	Máximo
<b>CURSOS MENORES (ANCHO SUPERFICIAL &lt; 30 M)</b>			
<b>A) DE LLANURAS O PLANICIES (BAJA PENDIENTE)</b>			
LIMPIOS, RECTOS, A CAPACIDAD PLENA SIN VADOS O CHARCAS PROFUNDAS	0.025	0.03	0.033
IDEM, CON MÁS PIEDRAS Y MALEZAS	0.033	0.035	0.04
LIMPIO, CON CURVAS, ALGUNAS POZAS Y BANCOS DE ARENA	0.035	0.04	0.045
IDEM, CON ALGO DE MALEZA Y PIEDRAS	0.04	0.045	0.05
IDEM, A NIVELES BAJOS Y SECCIONES Y PENDIENTES IRREGULARES	0.045	0.048	0.055
IDEM ANTERIOR PERO MÁS PEDREGOSA	0.05	0.05	0.06
TRAMOS DESCUIDADOS CON MALEZA, POZAS PROFUNDAS	0.075	0.07	0.08
TRAMOS CON MUCHA MALEZA, POZAS PROFUNDAS O CAUCES DE CRECIDA CON ÁRBOLES Y ARBUSTOS		0.10	0.15
<b>B) DE MONTAÑA (ALTA PENDIENTE), SIN VEGETACIÓN EN EL CANAL, RIBERAS USUALMENTE EMPINADAS, ÁRBOLES Y ARBUSTOS SUMERGIDOS A LO LARGO DE LAS RIBERAS</b>			
FONDO: GRAVA, RIPIO Y POCOS BOLONES	0.03	0.04	0.05
FONDO: RIPIO Y GRANDES BOLONES	0.04	0.05	0.07
<b>PLANICIES DE INUNDACIÓN</b>			
<b>A) PASTIZALES, SIN MATORRALES</b>			
PASTO PEQUEÑO	0.025	0.03	0.035
PASTO ALTO	0.03	0.035	0.05
<b>B) ÁREAS CULTIVADAS</b>			
SIN COSECHAS	0.02	0.03	0.04
CULTIVOS CRECIDOS, PLANTACIÓN EN SURCOS	0.025	0.035	0.045
CULTIVOS CRECIDOS, PLANTACIÓN A CAMPO TRAVIESA	0.03	0.04	0.05
<b>C) MATORRALES</b>			
MATORRALES DISPERSOS, GRANDES MALEZAS	0.035	0.05	0.07
POCOS MATORRALES Y ÁRBOLES, EN INVIERNO	0.035	0.05	0.06
POCOS MATORRALES Y ÁRBOLES, EN VERANO	0.04	0.04	0.06
MEDIANA A GRAN CANTIDAD DE MATORRALES, EN INVIERNO	0.045	0.07	0.11
MEDIANA A GRAN CANTIDAD DE MATORRALES, EN VERANO	0.07	0.10	0.16
<b>D) ÁRBOLES</b>			
SAUCES DENSOS, EN VERANO, RECTOS	0.011	0.15	0.20
TIERRA DESPEJADA CON POSTES O TRONCOS DE ÁRBOLES, SIN BROTES	0.03	0.04	0.05
IDEM, CON GRAN CANTIDAD DE BROTES O RAMAS	0.03	0.04	0.05
<b>CURSOS MAYORES (ANCHO SUPERFICIAL &gt;30 M).</b>			
A) SECCIÓN REGULAR SIN ROCAS O MATORRALES	0.025		0.06
B) SECCIONES IRREGULARES Y RUGOSAS	0.035		0.10

FUNDAMENTOS PARA DETERMINACION DE LOS GASTOS DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

Valores para cada tipo y uso de suelo dependiendo de la pendiente del terreno

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 27. Uso del suelo con cobertura y tipología

En esta tabla se indican los diferentes coeficientes de escurrimiento de acuerdo al tipo de área drenada

Tipo del área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
<b>ZONAS COMERCIALES</b>		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindario	0.50	0.70
<b>ZONAS RESIDENCIALES</b>		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
<b>ZONAS INDUSTRIALES</b>		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
<b>CEMENTERIOS, PARQUES</b>	0.10	0.25
<b>CAMPOS DE JUEGO</b>	0.20	0.35
<b>PATIOS DE FERROCARRIL</b>	0.20	0.40
<b>ZONAS SUBURBANAS</b>	0.10	0.30

<b>CALLES</b>		
Asfaltadas	0.70	0.95
Concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
<b>PRADERAS</b>		
Suelos arenosos planos	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados	0.25	0.35

Tabla 28. Valores del coeficiente de escurrimiento mínimos y máximos

➤ **Método racional modificado**

La modificación al método racional consiste en utilizar los valores de lluvia máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, en lugar del valor de la intensidad de lluvia. El método permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km<sup>2</sup> y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas. Este método considera que para un periodo crítico, la lluvia reportada en 24 horas puede presentarse en una hora, por tal razón este valor se debe expresar en cm/h. La fórmula queda de la siguiente manera:

$$Q = 0.028 C L A$$

Donde:

Q = Ecurrimiento máximo en m<sup>3</sup>/seg

0.028 = constante numérica resultante de las unidades en que se expresen las variables

C = Coeficiente de escurrimiento

L = Lluvia máxima en 24 horas para un período de retorno dado en cm/h

A = Área de la cuenca en ha.

Condiciones de la cuenca	Superficie en ha.	Valor de C	Superficie X Valor de C
<i>Terreno plano, cultivado de alfalfa y textura gruesa.</i>	40	0.30	12
<i>Terreno ondulado sembrado con pasto y suelo de textura media</i>	20	0.36	7.2
<i>Terreno plano, cultivado y textura media</i>	40	0.50	20
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>39.2</b>

$$\text{Valor ponderado de } C = \frac{39.2}{100} = 0.392$$

Tabla 29. Ejemplo de valor ponderado para coeficiente de escurrimiento

➤ **Hidrograma unitario triangular**

El método del hidrograma unitario triangular fue desarrollado originalmente por Sherman (1932) y para su aplicación es necesario tener disponibles registros simultáneos de lluvias y escurrimientos.

El hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma de escurrimiento directo, producido por 1 mm de lluvia en exceso, que cae con una intensidad uniforme sobre toda la cuenca durante un tiempo conocido como duración en exceso. Con la aplicación del hidrograma unitario se podrá predecir la forma del hidrograma de la avenida y el gasto máximo.

Las tres hipótesis fundamentales del método del hidrograma unitario son las siguientes:

a) Tiempo base constante. La duración total del escurrimiento directo o tiempo base es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, independientemente del volumen total escurrido. Todo hidrograma unitario está asociado a una duración de la lluvia en exceso.

b) Linealidad o proporcionalidad. Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, es decir al volumen total de lluvia efectiva. En consecuencia, las ordenadas de dichos hidrogramas son proporcionales entre sí.

c) Superposición de causas y efectos. El hidrograma que resulta de un periodo de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de periodos lluviosos precedentes.

➤ **Aplicación del hidrograma unitario en cuencas pequeñas para problemas de diseño**

- 1) Se elige un periodo de retorno y una duración de tormenta ( $d = t_c$ ).
- 2) A partir de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno ( $i-d-Tr$ ) se calcula la altura de lluvia ( $h_p$ ) para diferentes duraciones menor o igual a  $t_c$ , teniendo en cuenta que:  $i = h_p/d$ .
- 3) Se calcula la curva masa de precipitación con los valores obtenidos.
- 4) Se calcula el hietograma de lluvia total para un intervalo de tiempo seleccionado  $\Delta t$ .
- 5) Se obtiene el hietograma de lluvia efectiva y la duración en exceso, restando al hietograma obtenido en el paso 4, el índice de infiltración representativo de la cuenca. Con el mismo hietograma se calcula la lluvia efectiva total.
- 6) Si la duración en exceso de corresponde a la del hidrograma unitario, se procede a calcular la avenida de diseño, multiplicando las ordenadas del hidrograma unitario por la lluvia efectiva obtenida en el paso 5. Si no ocurre esto, hay que usar el método de la curva S para tener el hidrograma unitario para la duración de interés y luego multiplicar sus ordenadas por la lluvia efectiva determinada en el punto 5.

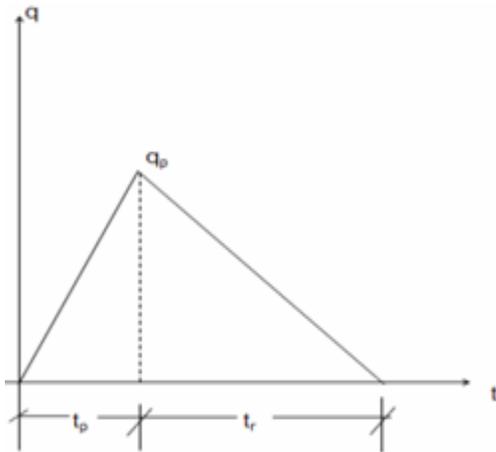
- 7) En la fase final, se agrega al hidrograma de escurrimiento directo obtenido el gasto base.

➤ **Aplicación del hidrograma unitario en cuencas grandes para problemas de diseño**

- 1) Para el área de la cuenca ( $A$ ) en estudio se selecciona la duración de diseño ( $d$ ).
- 2) A partir de las curvas altura de precipitación-área-duración ( $h_p-A-d$ ) con los valores de  $A$  y  $d$ , se obtienen la altura de lluvia  $h_p$ .
- 3) Para valores de duración menores a la de diseño se obtienen otros valores de  $h_p$ , que permiten construir la curva masa de precipitación.
- 4) A partir de la curva masa se calcula el hietograma de lluvia total y, al restarle el índice de infiltración representativo de la cuenca, se obtiene el hietograma de lluvia efectiva.
- 5) Si la duración en exceso de corresponde a la del hidrograma unitario, se procede a calcular la avenida de diseño, multiplicando las ordenadas del hidrograma unitario por la lluvia efectiva obtenida en el paso 4.

Si no ocurre esto, hay que usar el método del hidrograma o curva S para tener el hidrograma unitario para la duración de interés y luego multiplicar sus ordenadas por la lluvia efectiva determinada en el punto 4.

6) Se agrega al hidrograma de escurrimiento directo el gasto base.



El gasto pico se estima con la ecuación

$$Qp = 0.566 \frac{he A}{n Tp}$$

Donde :

$$Tp = \frac{Tc}{2} + 0.6 Tc; \text{ para cuencas pequeñas}$$

$$Tp = \sqrt{Tc} + 0.6 Tc; \text{ para cuencas grandes}$$

$$n = \begin{cases} 2 & \text{Para cuencas con } A < 250 \text{ km}^2 \\ 2 + \frac{A - 250}{1583.33} & \text{Para cuencas con } A \geq 250 \text{ km}^2 \end{cases}$$

he = lámina de lluvia efectiva, n mm:

A= área de la cuenca, km<sup>2</sup>

Tc= tiempo de concentración, h

Tp= tiempo pico, h

n= factor de corrección por área

➤ **Método de Chow (1962)**

El método de Chow permite conocer solamente el gasto máximo del hidrograma de escurrimiento directo para un periodo de retorno dado y se aplica a cuencas menores de 25 km<sup>2</sup>.

El gasto pico del escurrimiento directo se calcula con la expresión:

$$Qp = qp Pe \text{ ec 4.30}$$

Donde:

qp= gasto pico del hidrograma unitario, en m<sup>3</sup>/s/mm

Pe= es la lluvia efectiva, en mm.

En el hidrograma o curva S el gasto de equilibrio puede calcularse con:

$$qe = \frac{A}{3.6d} \text{ ec 4.31}$$

El factor de reducción Z, propuesto por Chow, se calcula a partir de la relación:

$$Z = \frac{qp}{qe} \text{ ec 4.32}$$

Sustituyendo las ecuaciones (4.31) y (4.32) en la (4.30) se obtiene:

$$Qp = 0.278 \frac{AZ Pe}{d} \text{ ec 4.33}$$

Multiplicando el numerador y denominador de la ecuación (4.33) por  $P_{eb}$  ( $P_{eb}$  es la lluvia en exceso calculada para la estación base y que está expresada en mm para una duración dada), se tiene:

$$Q_p = A Z \frac{P_{eb}}{d} \frac{P_e}{P_{eb}} \text{ ec 4.34}$$

Ahora bien, si consideramos que:

$$X = \frac{P_{eb}}{d} ; \text{ y } 0.278 \frac{P_e}{P_{eb}} \text{ ec 4.35}$$

La ecuación (4.34) se transforma de la forma siguiente:

$$Q_p = A X Y Z \text{ ec 4.36}$$

Donde:

$A$  = área de la cuenca, en  $\text{km}^2$   
 $X$  = factor de escurrimiento ( $P_{eb}$ , en mm y  $d$ , en horas)  
 $Y$  = factor climático ( $P_e$  y  $P_{eb}$ , en mm)  
 $Z$  = factor de reducción, adimensional.

Procedimiento para calcular los factores  $X$ ,  $Y$  y  $Z$

- 1) Se obtienen  $X$  y  $Y$  en función de  $P_{eb}$  o  $P_e$  con la ecuación (4.35).
- 2) Se calcula el factor  $Z$  en función de la relación entre la duración de la tormenta  $d$  y el tiempo de retraso  $t_R$ . El tiempo de retraso se define como el tiempo que transcurre entre el centroide del hietograma de lluvia efectiva y el tiempo pico del hidrograma de escurrimiento directo.

El tiempo de retraso depende, de las características fisiográficas de la cuenca y de la forma del hidrograma y es independiente de la lluvia. Para calcular el tiempo de retraso, Chow (1962) propone la ecuación:

$$t_R = 0.0050 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} \text{ ec 4.37}$$

Donde

$L$  = longitud del cauce principal, en metros  
 $S$  = pendiente del cauce principal, en %  
 $t_R$  = tiempo de retraso, en horas.

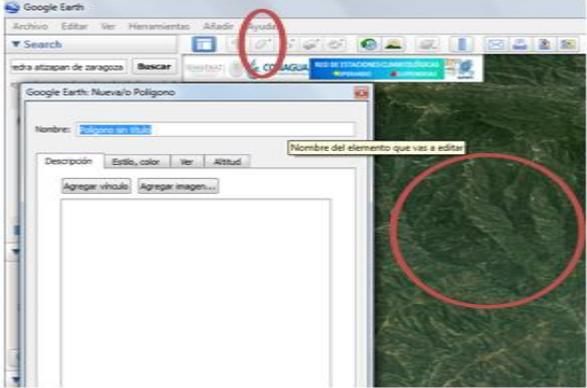
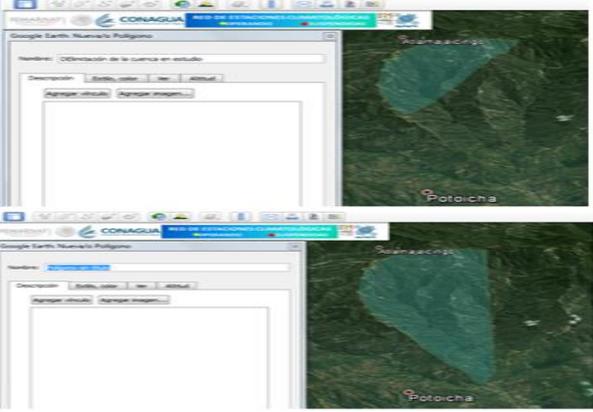
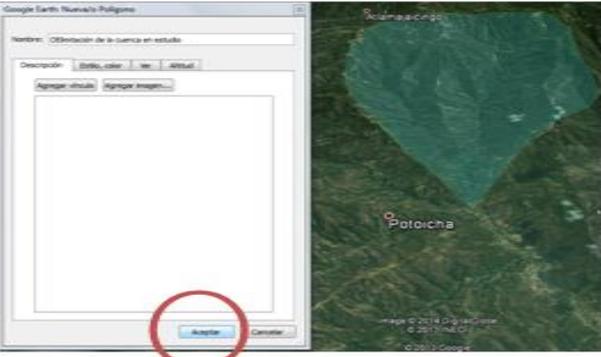
# CAPÍTULO V

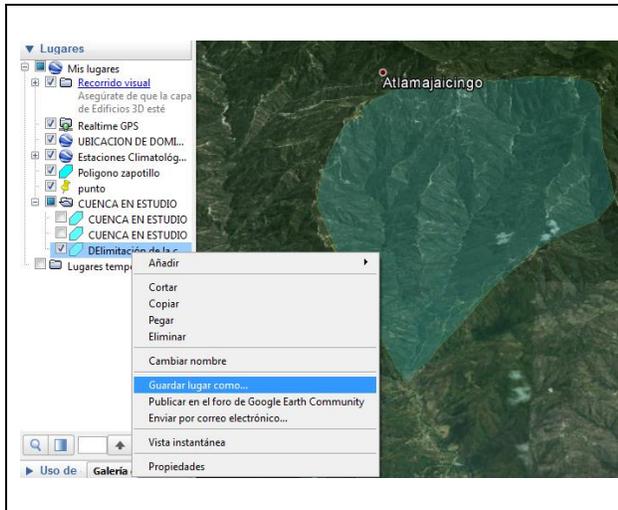
## EJERCICIOS DE APLICACIÓN

## CAPÍTULO V

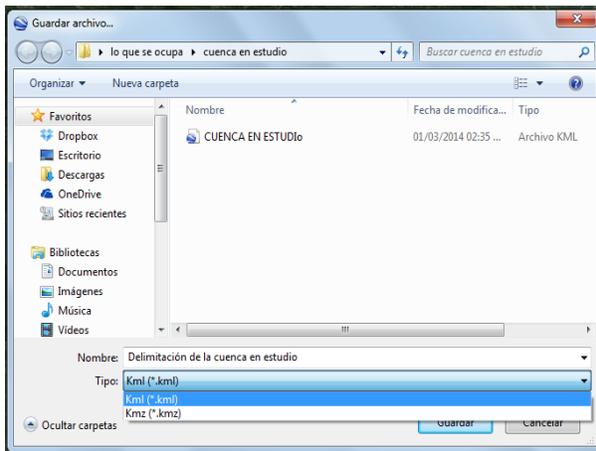
### ➤ EJERCICIOS DE APLICACIÓN

Ejemplo para la **delimitación del ancho, cauce y obtención del área de la cuenca** en donde se utiliza la herramienta interactiva de google earth.

	<p>1.-Con el software google earth ubicamos la cuenca que se desea aforar y se procede a delimitarla, se selecciona la opción de agregar polígono que se encuentra en la barra superior de las herramientas, se despliega un cuadro este pregunta el nombre que se le desea asignar al polígono, se le da el titulo en este caso para fines del ejemplo se le asigno el nombre “delimitación de cuenca” y sin cerrar el cuadro se procede al trazo de la cuenca.</p>
	<p>2.-Al poner el puntero sobre la imagen de la cuenca seleccionada aparece un cuadro, este se va a ir ubicando sobre el perímetro de la cuenca que se desea delimitar, con ayuda del mouse se le va a dar un click con el botón izquierdo, se logra ver como se va marcando el polígono que delimitará la cuenca, en caso de que se desee borrar un vértice por algún mal trazo del polígono con el botón derecho del mouse se puede borrar dicho error.</p>
	<p>3.-Cuando se finaliza el trazo del polígono únicamente se le da aceptar y se guarda automáticamente con el nombre que se le asignó, a el polígono se le puede ubicar en los accesorios del lado izquierdo con el nombre que se le asignó en un principio para identificarlo.</p>



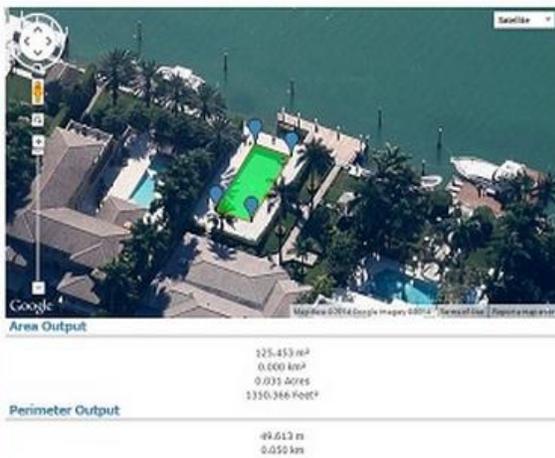
4.-En la sección “MIS LUGARES”, se sitúa el puntero aparece el titulo del polígono, con ayuda del mouse y el botón derecho, se despliega un cuadro de opciones y damos click en guardar lugar como.



Enseguida se abre el cuadro que nos indica el lugar o la carpeta donde se requiere guardar el documento, una vez seleccionado el lugar en la barra de extensiones se le asigna la extensión .KML

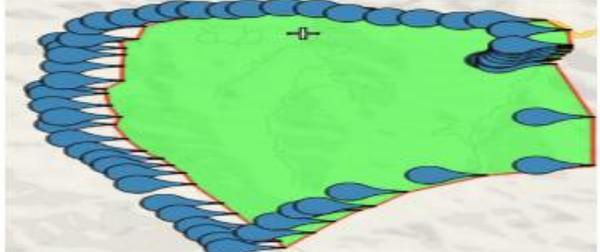
### Area Calculator

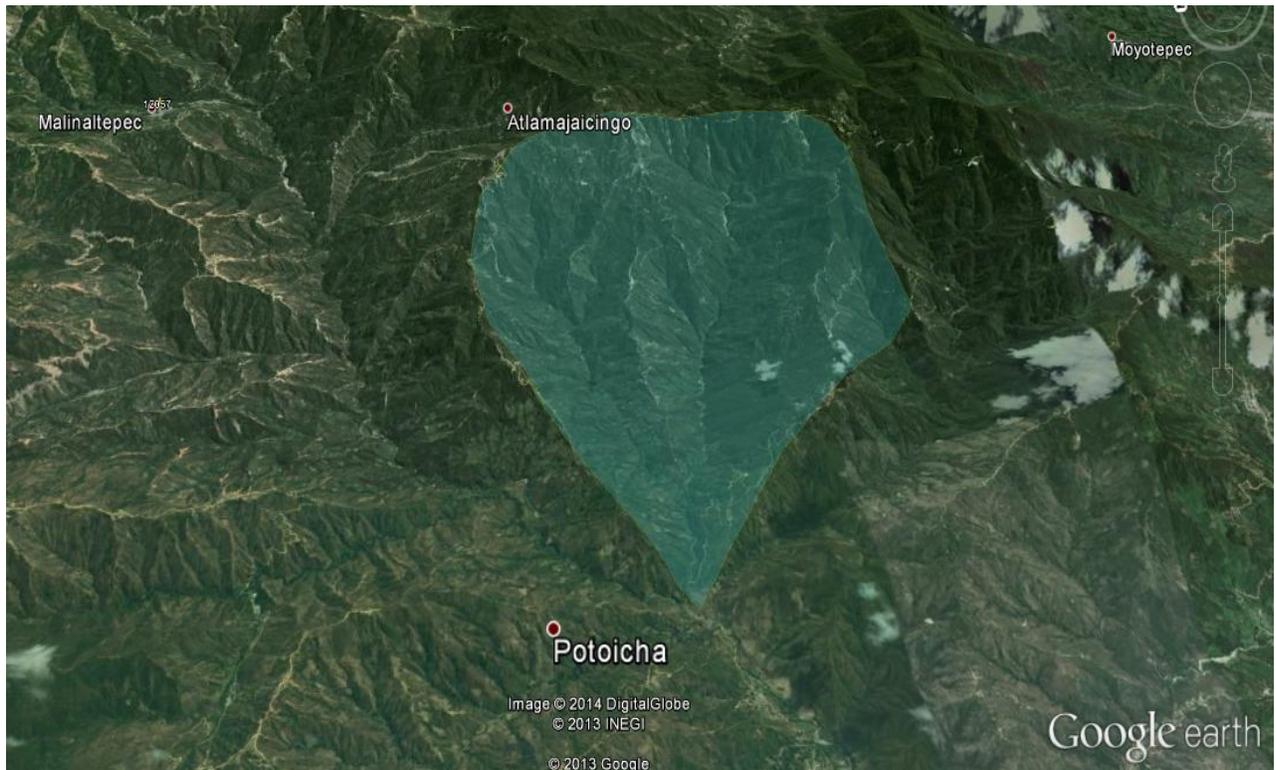
Calculate the enclosed area that you specify on a map



5.-Para el cálculo del área de la cuenca nos direccionamos al portal de internet con el siguiente link [www.freemaptools.com](http://www.freemaptools.com)

Seleccionar el apartado que trae la leyenda de “**Area Calculator**”, abre otra pagina donde aparecen varias opciones, se elige la opción **READ KML BETA** se pide que cargue el archivo que se trabajo en google earth en este caso el que se denominó “delimitación de la cuenca”, ya que esta seleccionado se presiona upload (cargar) y de esta manera se obtiene el área de la cuenca que nos interesa.

	<p>Lo que se obtiene es una perspectiva en google maps con todos los vértices que delimitan a la cuenca y el dato que se requiere en este caso el área y como complemento el perímetro de la cuenca también.</p>
<p><b>Area Output</b></p> <p>45590464.727 m<sup>2</sup> 45.590 km<sup>2</sup> 11265.649 Acres 490731679.665 Feet<sup>2</sup></p>	<p>Con los datos que arrojó el portal de internet el siguiente paso, será comenzar con el cálculo de los escurrimientos para el aforo de la cuenca en estudio</p>
<p><b>Perimeter Output</b></p> <p>32124.174 m 32.124 km</p>	



<b>Área de la cuenca</b>	<b>Perímetro</b>
45590464.727 m <sup>2</sup>	32124.174 m
45.590 km <sup>2</sup>	32.124 km
11265.649 Acres	
490731679.665 Feet <sup>2</sup>	

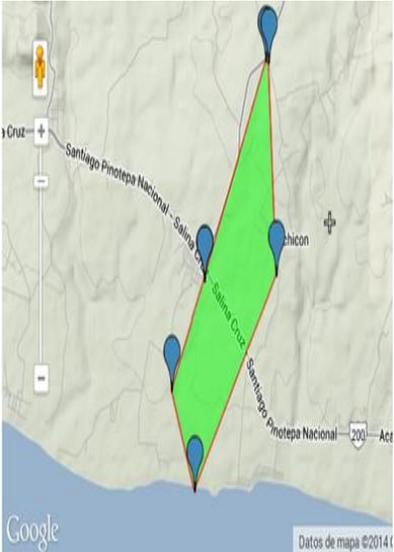
## CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Las características de la cuenca en estudio Arroyo Quebrantahuesos, se obtuvieron mediante algunos software de uso libre; en este caso se utilizó el mapa digital de México V5 y V6 que pone a disposición de los usuarios el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI y la herramienta interactiva Google Earth, con estos software se complementan los cálculos realizados en los que se emplean métodos semi-empíricos y empíricos en donde se utilizan las fórmulas mencionadas en el contenido de esta tesis, los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

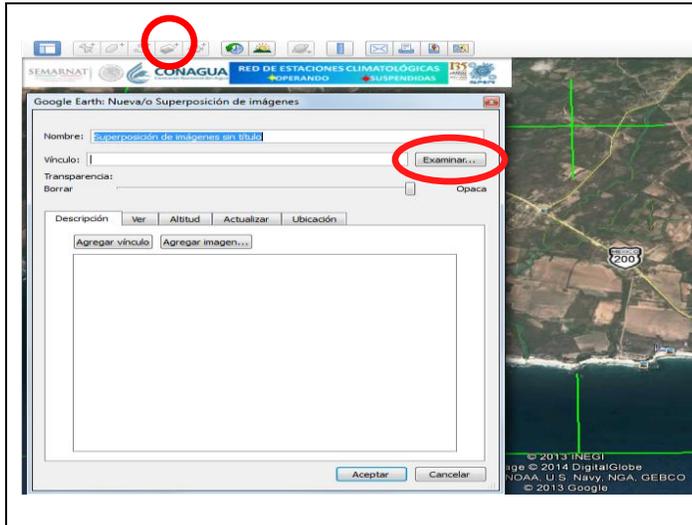
Ejemplo Arroyo Quebrantahuesos

- Cálculo del área y perímetro de la cuenca en estudio Arroyo Quebrantahuesos.**

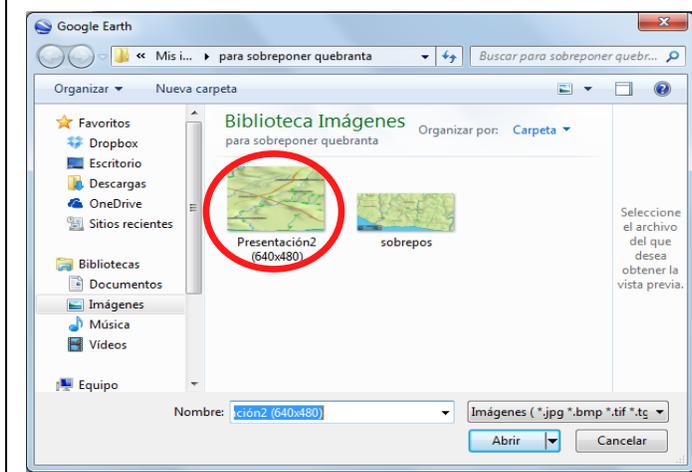
Como ya se explicó en la sección anterior el procedimiento para la delimitación de la cuenca y la obtención del área y perímetro, sólo se muestra la delimitación ya realizada junto con los resultados del área y perímetro calculados con la serie de pasos antes mencionados y obtenidos con el link [www.freemaptools.com](http://www.freemaptools.com)

		<p><b>Area Output</b></p> <hr/> <p>4285221.518 m<sup>2</sup>          4.285 km<sup>2</sup>          1058.901 Acres          46125740.671 Feet<sup>2</sup></p> <p><b>Perimeter Output</b></p> <hr/> <p>10677.307 m          10.677 km</p>
<p><b>Delimitación del área de la cuenca google earth</b></p>	<p><b>Obtención de área y perímetro con freemaptools</b></p>	

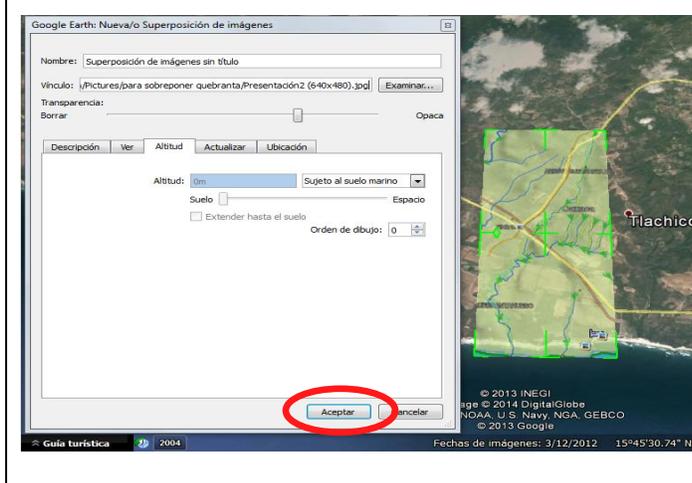
• **Superposición de imágenes**



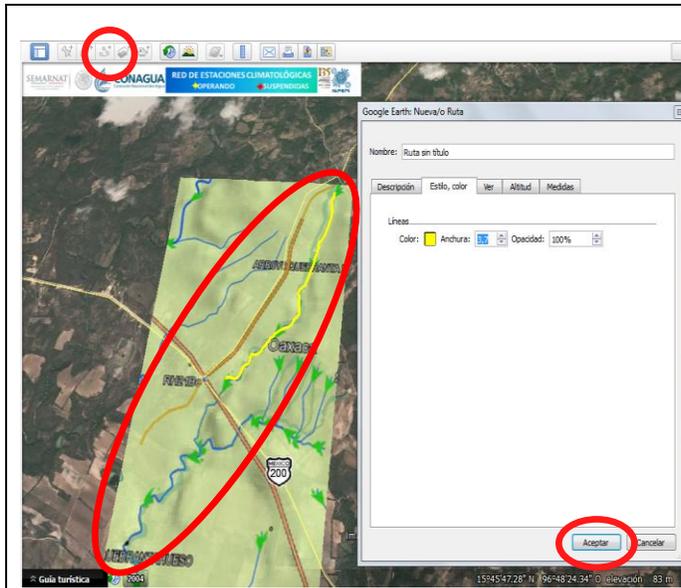
Con ayuda de la herramienta de google earth denominada superposición de imágenes podemos trazar el cause que sigue la cuenca en estudio al igual que en el procedimiento para delimitar la cuenca se despliega un cuadro, este pregunta el titulo que se le desea asignar.



Una vez que se le asigna el titulo aparece un recuadro con la leyenda examinar, a dar click sobre el botón, este despliega otro cuadro donde pide que se agregue la imagen que se desea superponer, se selecciona la imagen y posteriormente se da abrir y sin cerrar el cuadro se procede a la superposición de la imagen. Cabe mencionar que la imagen que se va a sobreponer tiene que estar en formato .jpg, ya que se sobrepuso la imagen el siguiente paso es ajustarla.

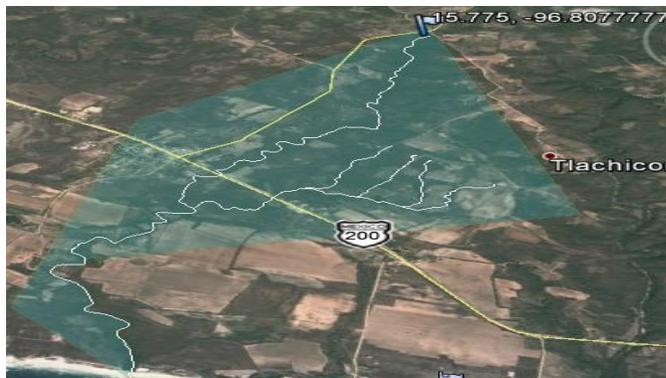


La imagen sobrepuesta tiene en las esquinas y en el centro líneas de color verde esto nos va a servir para ubicar, reducir o darle el ángulo que se requiere para que se ajuste al cauce que se está estudiando, gracias a que google earth tiene la función de opacidad la imagen se puede reducir en transparencia o viceversa aumentarla el último paso es aceptar y la superposición se guarda en automático se le puede encontrar del lado izquierdo con el título asignado.

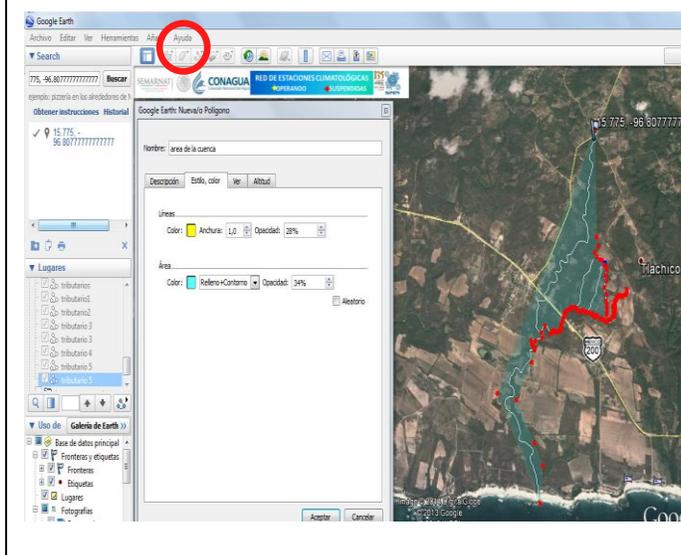


Con la herramienta denominada nueva o ruta, al darle click aparece de nueva cuenta el recuadro que pide asignar titulo sobre la imagen, y como se ha trabajado en las secciones anteriores, se repiten algunos pasos.

Ya que se asigna el titulo, se procede a trazar el cauce en la imagen que fue sobrepuesta sobre la imagen original de google earth, al igual que en secciones anteriores hasta que se acaba de realizar la opción requerida se le da aceptar al cuadro y se guarda la capa al igual que en las secciones pasadas.



Ya que se culminó de trazar el cauce, se desactiva la capa de la imagen sobrepuesta y queda como resultado el perfil siguiente y nuevamente se activa la herramienta denominada polígono y al igual que en la delimitación del área de la cuenca se realizan los mismos pasos para la delimitación del cauce.



Sin cerrar el cuadro que aparece para asignar titulo, se va a ir manipulando el polígono para ir encerrando el cauce del arroyo lo más cercano al perfil.

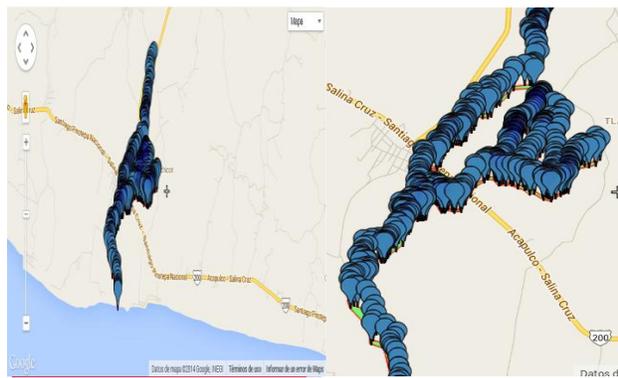
Se puede notar en la imagen aparecen vértices en color rojo, estos son los puntos que uno puede ir jalando para delimitar el perfil con mayor precisión poniendo el puntero del mouse sobre cada uno de los vértices y desplazándolos al perfil que se trazó con anterioridad.



En la imagen se observa la delimitación del cauce con una de las vertientes ya delimitadas, esto se va a ir repitiendo hasta que se concluya con la delimitación de todo el perímetro de interés.



Ya que se culminó de delimitar el cauce, se presenta una perspectiva con el perfil siguiente y hasta ese momento se procede a guardar el perfil dando click en el botón de aceptar del cuadro que aparece al igual que en las otras secciones creadas el cauce trazado se puede encontrar del lado izquierdo de la pantalla de google earth.



**Area Output**

290479.857 m<sup>2</sup>  
 0.290 km<sup>2</sup>  
 71.779 Acres  
 3126699.173 Feet<sup>2</sup>

**Perimeter Output**

21935.234 m  
 21.935 km

En la sección “MIS LUGARES”, se sitúa el puntero aparece el titulo de la delimitación, con ayuda del mouse y el botón derecho, se despliega un cuadro de opciones y damos click en guardar lugar como. Enseguida se abre el cuadro que nos indica el lugar o la carpeta donde se requiere guardar el documento, una vez seleccionado el lugar en la barra de extensiones se le asigna la extensión .KML y se realizan los mismos pasos que se llevaron a cabo en el paso 5 para la obtención del área y el perímetro de la cuenca en el link de

[www.freemaptools.com](http://www.freemaptools.com)

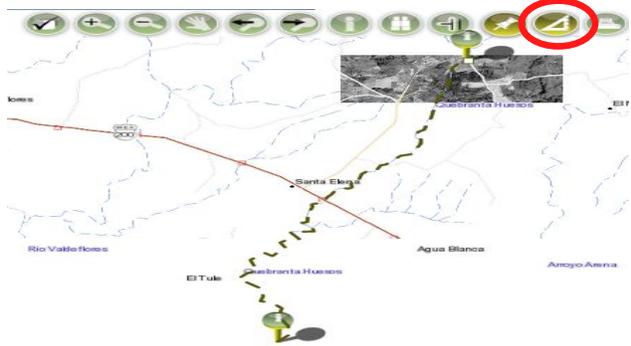
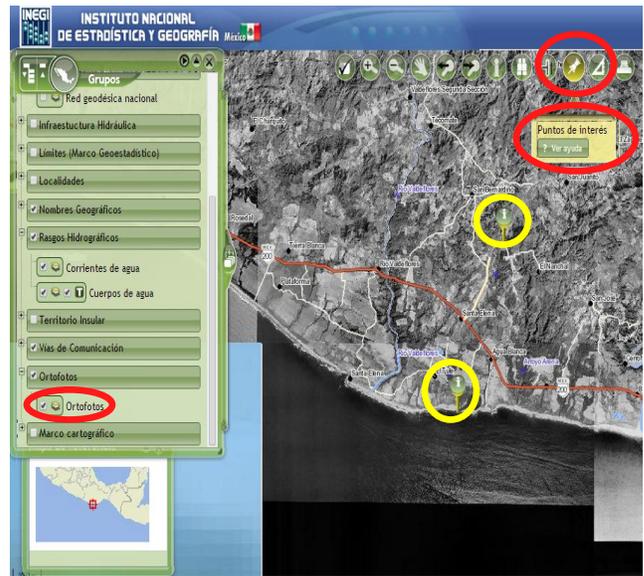
Para la longitud del cauce principal se trabajó con dos software el mapa digital V5 que pone a disposición de los usuarios el INEGI Y ArcGis 10.1

- **Cálculo de la longitud del cauce principal con ayuda del software Mapa digital**

La manera para determinar la longitud del cauce principal fue con la ayuda del mapa digital que presenta INEGI.

1.-Lo primero que se realiza es obtener la imagen en ortofoto esto ayuda a visualizar la cuenca que se está estudiando.

2.-Ya que se tiene la ortofoto nos dirigimos a la herramienta puntos de interés nos muestra una galería de figuras (elección libre), ya seleccionada la figura se marcan los puntos a trabajar en este caso se visualiza encerrados en color amarillo.



3.- Para medir la longitud del cauce principal, se ubica en la barra de herramientas el icono que presenta una escuadra, al ubicarse sobre el icono aparece una leyenda que indica medir.

4.-Para obtener la longitud lo que se tiene que hacer es ir trazando con ayuda del mouse la ruta que sigue el cauce del río en la ortofoto se aprecia el cauce en líneas puntadas lo cual facilita el seguir la trayectoria.

Cuando se concluye el trazo, se aprecia el perfil que se obtiene al seguir la ruta y al darle al botón medir distancia en la casilla que aparece, arroja en automático la longitud aproximada del cauce principal.

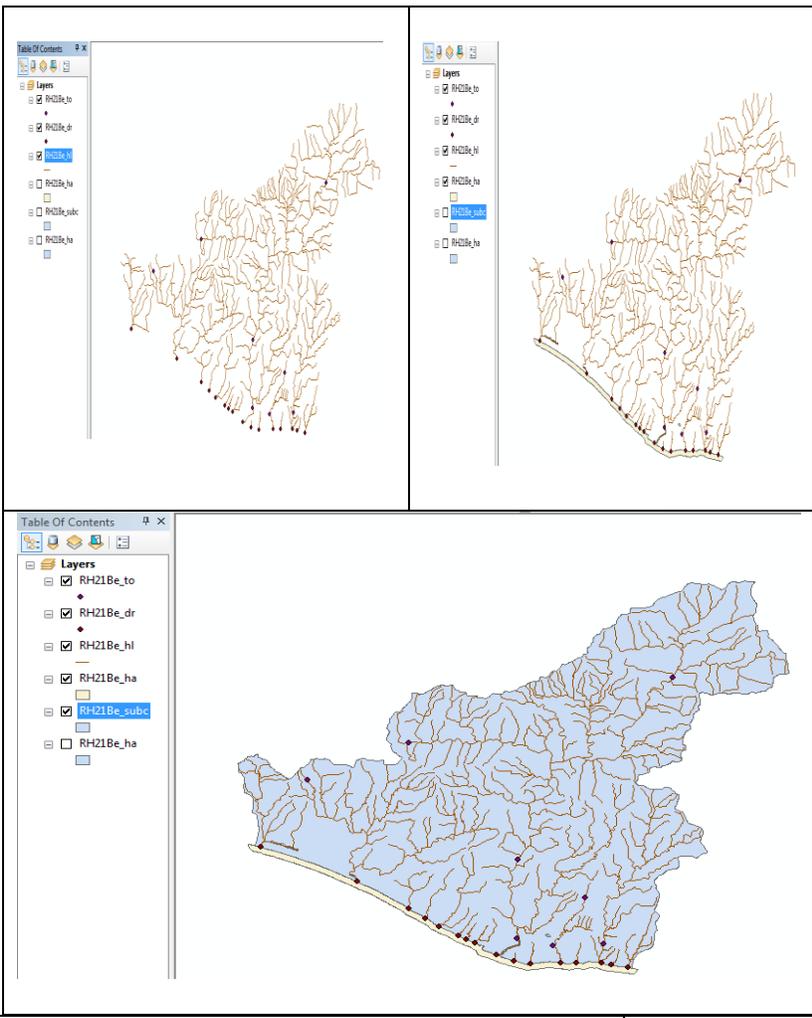
• **Cálculo de la longitud del cauce principal con ayuda del software ArcGIs**

Para descargar la red hidrográfica de la cuenca en estudio, se accesa al portal de internet del INEGI en el apartado de productos y servicios, aparece un recuadro con todas las redes hidrográficas disponibles en la República Mexicana en este caso el Arroyo Quebranta huesos pertenece a la Región Hidrográfica 21 (Costa de Oaxaca Puerto Ángel) y se encuentra dentro de la cuenca Hidrográfica Copalita y Otros perteneciente al municipio de Santa María Tonameca Oaxaca.

<p>1.- Seleccionar la Región Hidrográfica</p>	<p>2.-Seleccionar Cuenca Hidrográfica</p>	<p>3.-Seleccionar subcuenca y descargar</p>

4.-Una vez que se descargó el archivo, se ubica la carpeta donde se guardó y aparecen varios archivos con distintas extensiones para trabajar en el formato que se necesite.

5.-En el Software ArcGis es su apartado de ArcMap en la parte superior derecha se encuentra la pestaña **Catalog** al presionarla despliega las carpetas que se encuentran en Folder Connections en este caso la carpeta se encuentra dentro del acceso C, se ubica la carpeta con la leyenda RH21Be y se vuelve a desplegar una serie con distintos iconos los cuales son los que le van a dar forma a la cuenca dentro del pizarrón de ArcMap



6.- Para la visualización de la cuenca el procedimiento a seguir es el siguiente:

6.1.-En los iconos que se encuentran encerrados en color amarillo, al poner el cursor sobre cada uno de ellos nos permite ir desplazando el que se desee al centro de la pantalla, al realizar este procedimiento se puede ir visualizando cada función que representa el icono

En la parte derecha de la pantalla se aprecia un cuadro que trae la leyenda tabla de contenidos en este cuadro se observa cada uno de estos iconos como una capa las cuales si se disponen se pueden activar y desactivar cuando uno lo requiera.

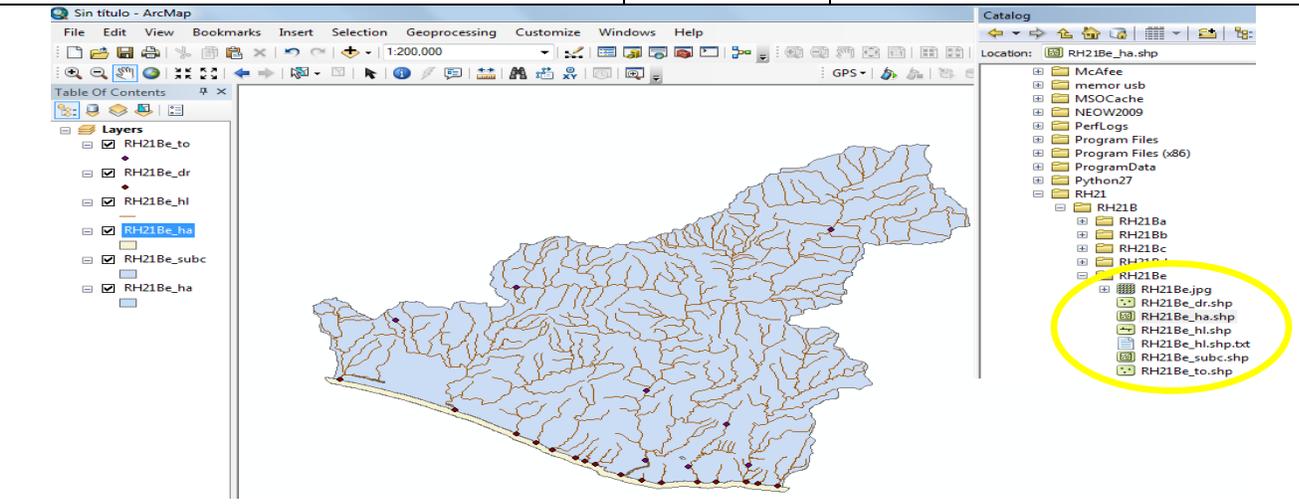
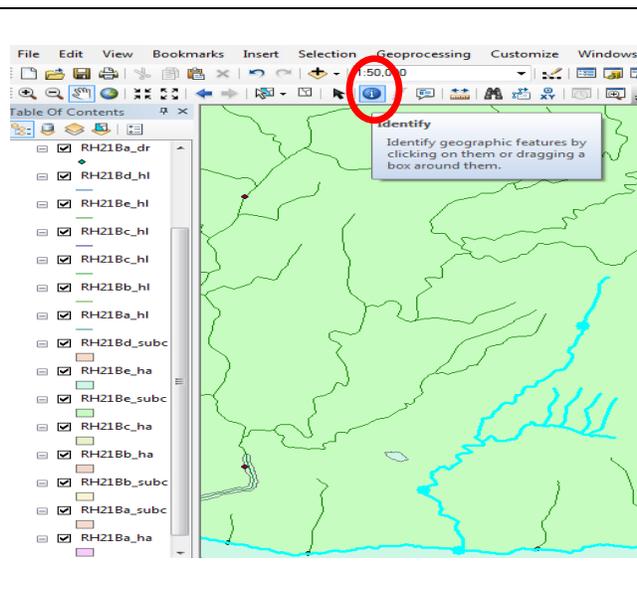


Imagen con todas las capas activadas.

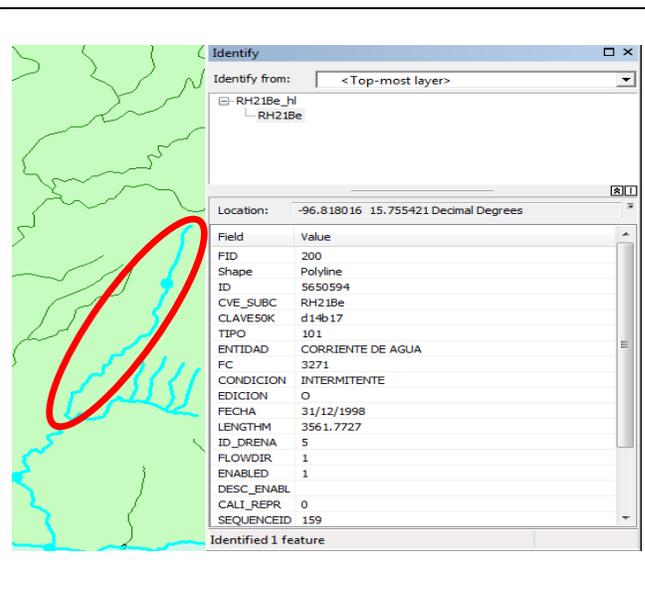
7.- El siguiente paso es ubicar la cuenca que se está estudiando dentro de ArcMap

Ya que se tiene la ubicación de la cuenca, para obtener la longitud del cauce principal se siguen los siguientes pasos:

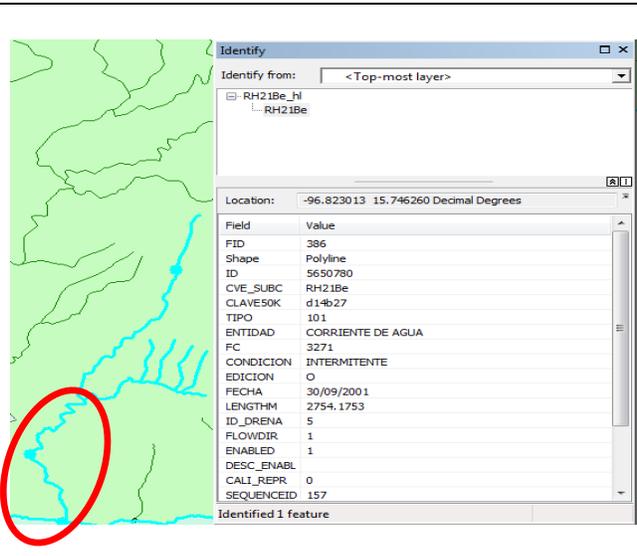
- En la barra de herramientas de ArcMap seleccionar el icono **i** que significa Identify.
- Ya con el icono activado se ubica el puntero sobre el cauce que se quiere medir en este caso la longitud del cauce principal la divide en dos partes por lo tanto después de obtener las dos longitudes el último paso sería sumar las dos longitudes y se obtiene la longitud total del cauce principal.



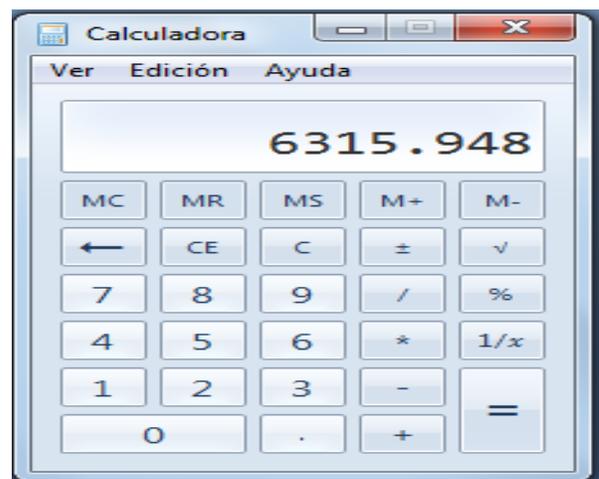
Ubicación de la cuenca



Longitud tramo 1= 3561.7722m

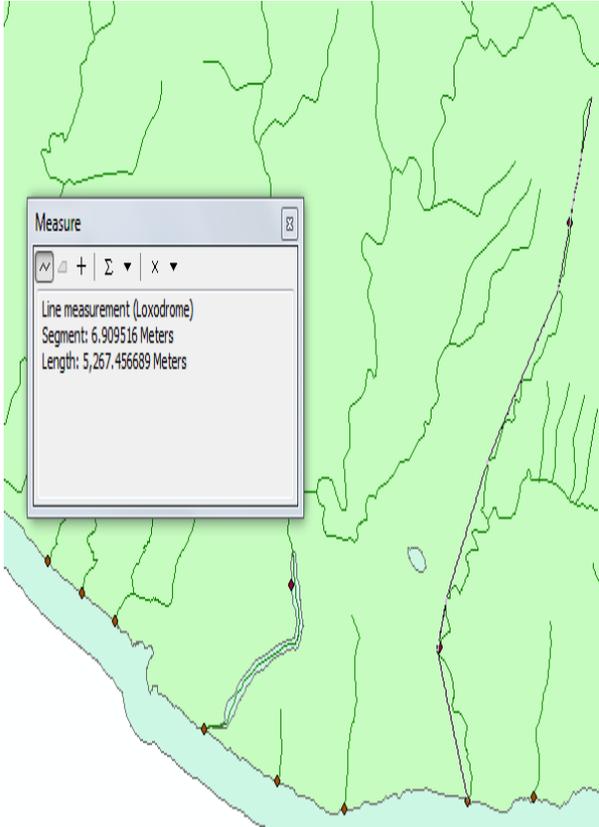


Longitud tramo 2= 2754.1753m



Longitud del cauce principal = 6315.948m= 6.316 km

• **Cálculo Pendiente del cauce principal**

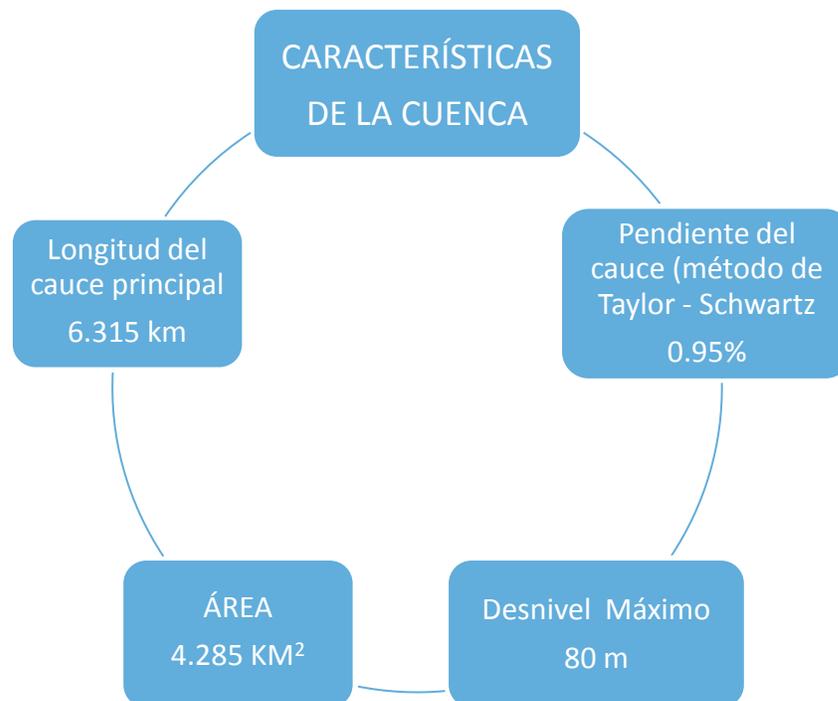
<p><b>Pendiente del cauce principal</b> <b>Método de Taylor-Schwarts</b></p> <p>La longitud total del cauce principal es de = 6315.95m = 6.315km</p> <p>No. De tramos del cauce principal = 5</p> <p>Tramo 1= 1335.733938m = 1.335733938km</p> <p>Tramo 2= 1428,951764m = 1.428951764km</p> <p>Tramo 3=1378.58375m = 1.37858375km</p> <p>Tramo4=602.721816m = 0.602721816km</p> <p>Tramo 5=515.882743m = 0.515882743km</p>	
$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$	<p>Donde:</p> <p>S=pendiente media del cauce n=Número de tramos en que se divide la longitud del cauce principal. S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>n</sub>= Pendiente de cada tramo en que se divide el cauce principal</p>

- **Desarrollo de la fórmula para el cálculo de la pendiente del cauce principal**

**Método de Taylor-Schwartz**

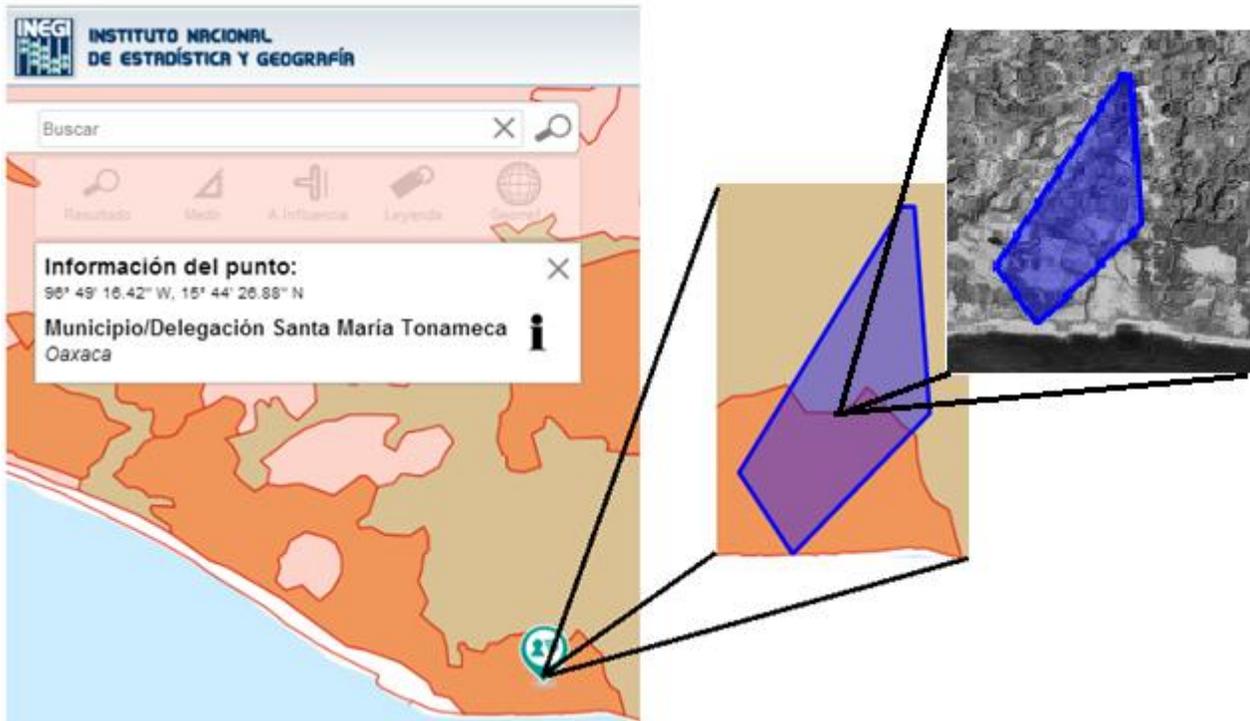
n= 5 número de tramos en que se dividió la longitud del cauce principal.

<b>Pendiente de cada tramo</b>	<b>Pendiente media del cauce</b>
$\frac{1}{\sqrt{S_1, S_2, \dots, S_n}}$ <p>S1=0.86524684 S2=0.83654867 S3=0.85169368 S4=1.28807617 S5=1.39227332</p>	$\frac{n}{\sum} = \frac{5}{5.23383868} = 0.955521$
$\sum = 5.23383868$	<p>S= 0.95%</p>



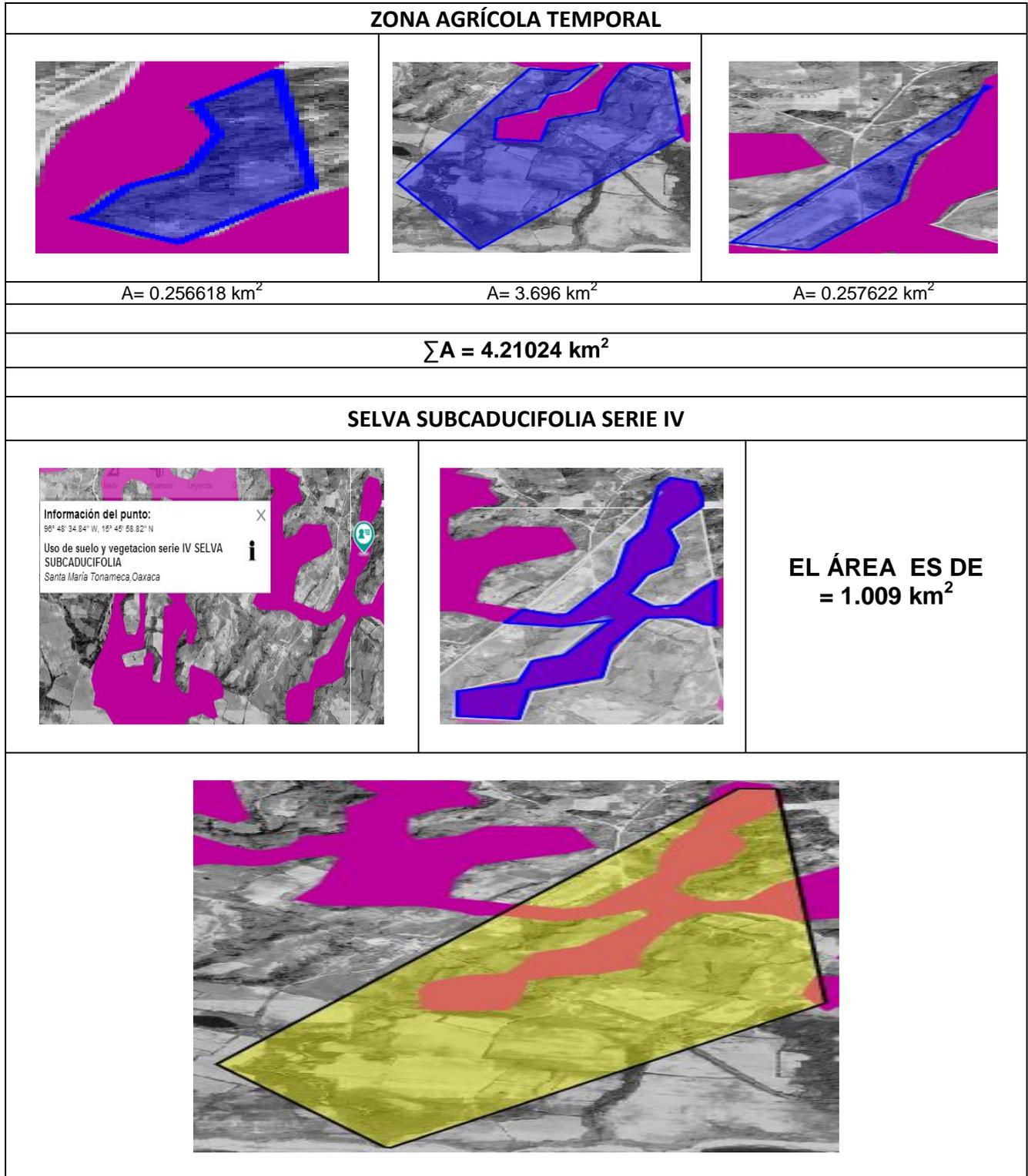
- **Edafología**

Ciencia que estudia los procesos de formación y evolución de los suelos.



	<p>TIPO DE SUELO : REGOSOL</p> <p>ÁREA: 1.948 km<sup>2</sup></p> <p>TEXTURA: GRUESA</p>
	<p>TIPO DE SUELO: CAMBISOL</p> <p>ÁREA: 3.087km</p> <p>TEXTURA: GRUESA</p>

- **Uso de suelo**



- **Cálculo del escurrimiento N**

El sistema de clasificación generalmente adoptado está basado en las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América, pero adecuado a los patrones edáficos, climáticos y topo-fisiográficos existentes en el área que se está analizando.

El primer grupo comprende cuatro clases de capacidad, que van de la Clase I a la Clase IV. La Clase I es considerada la mejor y se supone que carece prácticamente de limitaciones, las cuales aumentan de la II a la IV.

El segundo grupo está integrado por las Clases V y VI, y sus limitaciones aumentan progresivamente de la V a la VI.

El tercer grupo consta solo de la Clase VII y agrupa suelos apropiados generalmente para la explotación forestal.

Por último, el cuarto grupo consta solo de la Clase VIII y presenta tales limitaciones que son inadecuadas para fines agropecuarios o de explotación forestal.

### Obtención del valor de la Curva N

USO DE SUELO	PENDIENTE	TIPO DE SUELO			N ponderada
		A			
		ÁREA km	% ÁREA	N	
ZONA AGRÍCOLA TEMPORAL	≤ 1%	4.21024	80.668	67.00	54.04756
SELVA SUBCADUCIFOLIA SERIE IV	≤ 1%	1.009	19.332	26.00	5.02632
	Σ=	5.21924	100	<b>N=</b>	59.07388

El número de curva N de la cuenca es :

$$N=59.07388 = 60$$

Con la finalidad de obtener una N más desfavorable, se consideró una N para condiciones de humedad previa en el suelo en relación a la condición media **N=60**.

- **Tiempo de concentración**

Para determinar el tiempo de concentración se emplearán los métodos de Rowe, Kirpich y del Servicio de Conservación de suelos, los cuales se describen a continuación:

KIRPICH	ROWE	S.C.S
$tc = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{Sc^{0.385}}$	$Tc = \left( \frac{0.86 L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$	$tc = \frac{L^{1.15}}{3085H^{0.38}}$
Donde: tc = Tiempo de concentración, h L= Longitud del cauce principal, km Sc = Pendiente media del cauce principal, adimensional	Donde: tc =Tiempo de concentración, h L=Longitud del cauce principal, km ΔH = Desnivel del cauce principal, m	Donde: L = longitud del cauce principal, m H = Desnivel total de la cuenca, m
$tc = 0.000325 \frac{(6.315)^{0.77}}{0.95^{0.385}}$	$Tc = \left( \frac{0.86 (6.315)^3}{93} \right)^{0.385}$	$tc = \frac{6315^{1.15}}{3085(93)^{0.38}}$
<b>1.37h</b>	<b>1.38h</b>	<b>1.36h</b>

Kirpich	1.37h
Rowe	1.38h
<b>S.C.S</b>	<b>1.36h</b>

**Tomamos el Tc= 1.36h por ser el más crítico**

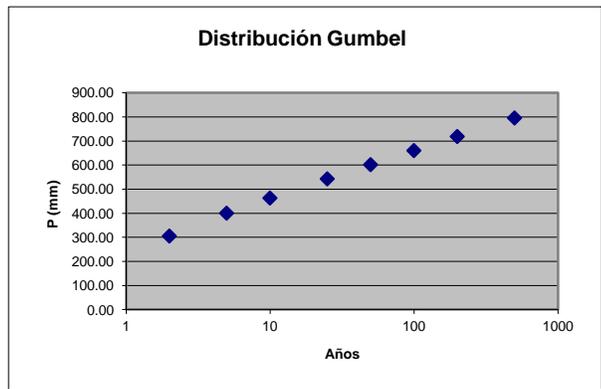
Se analizaron los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación climatológica **Cozaltepec 20326**, empleados en el presente análisis por ser la estación más cercana al sitio estudiado y con mayor número de datos, se realizó una hoja de cálculo en excel para obtener la distribución de Gumbel y precipitaciones en periodos de retorno establecidos .

Año	Datos
1980	531
1981	511
1982	485.2
1983	472
1984	446.1
1985	435
1986	412.3
1987	375
1988	344
1989	342
1990	341
1991	308
1992	305
1993	301
1994	300
1995	298.8
1996	295
1997	283.4
1998	263
1999	259
2000	255
2001	254
2002	235
2003	228
2004	223.9
2005	216
2006	202
2007	185
2008	155

Hoja de cálculo para obtener distribución de Gumbel y precipitaciones en periodos de retorno requeridos

media	desviacion tipica	n
319.3689655	92.96935033	29
1.1086	0.5353	
alfa	beta	
0.01192436	274.4776673	

Gumbel		
T	Precipitacion	Prob(Pmax<=x)
2	305.21	0.5
5	400.27	0.8
10	463.20	0.9
25	542.71	0.96
50	601.70	0.98
100	660.26	0.99
200	718.59	0.995
500	795.56	0.998
1000	853.73	0.999



## MEMORIA DE CÁLCULO

Valores para el cálculo de alfa y beta		
n	$\mu_y$	$\sigma_y$
10	0.4967	0.9573
11	0.4996	0.9676
12	0.5039	0.9833
13	0.507	0.9971
14	0.51	1.0095
15	0.5128	1.0206
16	0.5154	1.0306
17	0.5176	1.0396
18	0.5198	1.048
19	0.5202	1.0544
20	0.5236	1.0628
21	0.5252	1.0696
22	0.5268	1.0754
23	0.5283	1.0811
24	0.5296	1.0864
25	0.5309	1.0915
26	0.532	1.0961
27	0.5332	1.1004
28	0.5343	1.1047
29	0.5353	1.1086
30	0.5362	1.1124
31	0.5371	1.1159
32	0.538	1.1193
33	0.5388	1.1226
34	0.5396	1.1255
35	0.5403	1.1285
36	0.541	1.1313
37	0.5418	1.1339
38	0.5424	1.1363

39	0.543	1.1388
40	0.5436	1.1413
41	0.5442	1.1436
42	0.5448	1.1458
43	0.5453	1.1480
44	0.5458	1.1499
45	0.5463	1.1519
46	0.5468	1.1538
47	0.5473	1.1557
48	0.5477	1.1574
49	0.5481	1.159
50	0.5485	1.1607
51	0.5489	1.1623
52	0.5493	1.1638
53	0.5497	1.1658
54	0.5501	1.1667
55	0.5504	1.1681
56	0.5508	1.1696
57	0.5511	1.1708
58	0.5515	1.1721
59	0.5518	1.1734
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1973
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2038
100	0.56	1.2065

• **Lluvia media de diseño**

Para determinar la lluvia media de diseño se emplea la fórmula propuesta por E. Kuishling y C. E. Gransky.

$$Hp_d = \frac{K Tc^{1-e}}{1-e}$$

De esta manera para un:

**Tc= 1.36 le corresponde e= 0.70**

Es posible determinar el valor del coeficiente K a partir de la ecuación, de la siguiente manera:

$$K = \frac{Hp_d (1-e)}{24^{1-e}}$$

Donde:

$Hp_d$  = Lluvia media de diseño, mm

K = Coeficiente, adimensional.

Tc = Tiempo de concentración, h

e = coeficiente que depende del tiempo de concentración, adimensional

En la cual se ha considerado que  $H_{pd}$  es igual a la lluvia máxima en 24 h, y se ha sustituido el periodo de retorno por el periodo de tiempo considerado, así mismo se toma el valor de  $e$  obtenido. Posteriormente se determina el valor de la lluvia media de diseño. Los resultados se resumen en el cuadro siguiente:

Periodo de retorno	Cálculo K $K = \frac{H_{pd} (1 - e)}{24^{1-e}}$	Cálculo Hpd $H_{pd} = \frac{K T c^{1-e}}{1 - e}$	K	Hpd (mm)
2 años	$K = \frac{305.21 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 35.29$	$H_{pd} = \frac{35.29 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 129.00$	35.29	129.00
5 años	$K = \frac{400.27 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 46.28$	$H_{pd} = \frac{46.28 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 169.17$	46.28	169.17
10 años	$K = \frac{463.20 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 53.56$	$H_{pd} = \frac{53.56 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 195.79$	53.56	195.79
25 años	$K = \frac{542.71 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 62.75$	$H_{pd} = \frac{62.75 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 229.38$	62.75	229.38
50 años	$K = \frac{601.70 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 69.57$	$H_{pd} = \frac{69.57 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 254.31$	69.57	254.31
100 años	$K = \frac{660.26 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 76.34$	$H_{pd} = \frac{76.34 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 279.06$	76.34	279.06
200 años	$K = \frac{718.59 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 83.09$	$H_{pd} = \frac{83.09 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 303.73$	83.09	303.73
500 años	$K = \frac{795.56 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 91.99$	$H_{pd} = \frac{91.99 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 336.26$	91.99	336.26
1000 años	$K = \frac{853.73 (1 - 0.70)}{24^{1-0.70}} = 98.71$	$H_{pd} = \frac{98.71 (1.36^{1-0.70})}{1 - 0.70} = 360.83$	98.71	360.83

- **Fórmula Racional**

Es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrimento. Su origen se remonta a 1851 o 1889. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación.

$$Qp = 0.278 (C) (i) (A) \text{ o } Qp = \frac{(Ce)(i)(Ac)}{360}$$

Donde:

Q = Gasto máximo, m<sup>3</sup>/s

C = Coeficiente de escurrimiento, que representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa.

I = Intensidad de la lluvia, mm/h

A = Área de la cuenca, km<sup>2</sup>

La expresión correspondiente del coeficiente de escurrimiento, C

$$C = \frac{He}{Hp_d}$$

Donde:

He = Lámina de escurrimiento o exceso de lluvia, mm,

H<sub>p<sub>d</sub></sub> = Lluvia media de diseño, mm,

La lámina de lluvia en exceso se determina empleando la ecuación de Thorntwaite:

$$He = \frac{10 \left[ \frac{Hp_d}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{\frac{Hp_d}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Donde:

H<sub>p<sub>d</sub></sub> = Lluvia media de diseño, mm

N = Número de curva,

• **Precipitación en exceso y Coeficiente de Escurrimiento**

Periodo de retorno	Lamina de Escurrimiento $He = \frac{10 \left[ \frac{Hp_d}{10} - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{\frac{Hp_d}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32}$	Coeficiente de escurrimiento Ce $C = \frac{He}{Hp_d}$	He	Ce
2 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{129.00}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{129.00}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 34.22$	$C = \frac{34.22}{129.00} = 0.2653$	34.22	0.2653
5 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{169.17}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{169.17}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 60.09$	$C = \frac{60.09}{169.17} = 0.3552$	60.69	0.3552
10 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{195.79}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{195.79}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 79.15$	$C = \frac{79.15}{195.79} = 0.4043$	79.15	0.4043
25 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{229.38}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{229.38}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 104.77$	$C = \frac{104.77}{229.38} = 0.4568$	104.77	0.4568
50 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{254.31}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{254.31}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 124.67$	$C = \frac{124.67}{254.31} = 0.4902$	124.67	0.4902
100 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{279.06}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{279.06}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 145.03$	$C = \frac{145.03}{279.06} = 0.5197$	145.03	0.5197
200 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{303.73}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{303.73}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 165.82$	$C = \frac{165.82}{303.73} = 0.5459$	165.82	0.5459
500 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{336.26}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{336.26}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 193.84$	$C = \frac{193.84}{336.26} = 0.5765$	193.84	0.5765
1000 años	$He = \frac{10 \left[ \frac{360.83}{10} - \frac{508}{60} + 5.08 \right]^2}{\frac{360.83}{10} + \frac{2032}{60} - 20.32} = 215.41$	$C = \frac{215.41}{360.83} = 0.5970$	215.41	0.5970

- **Intensidad de la lluvia, ( I )**

Se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{K}{(1 - e) Tc^e}$$

Donde:

K = Coeficiente, adimensional

e = Coeficiente, adimensional,

Tc = Tiempo de concentración, h,

Así, al sustituir los valores presentados, en la ecuación se determina el valor de I, los valores se muestran en el cuadro siguiente

Periodo de retorno	Intensidad $I = \frac{K}{(1 - e) Tc^e}$	I
2	$I = \frac{35.29}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	94.85
5	$I = \frac{46.28}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	124.39
10	$I = \frac{53.56}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	143.96
25	$I = \frac{62.75}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	168.66
50	$I = \frac{69.57}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	186.99
100	$I = \frac{76.34}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	205.19
200	$I = \frac{83.09}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	223.33
500	$I = \frac{91.99}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	247.25
1000	$I = \frac{98.71}{(1 - 0.70)1.36^{0.70}}$	265.32

- **Gasto máximo,  $Q$  ( $m^3/s$ )**

Para obtener el gasto máximo con el método racional se sustituyen los resultados de C e I mostrados, así como el área.

Periodo de retorno (Años)	$0.278 (C) (I) (A)$	$Q = m^3/seg$
2	0.278 (0.2653) (94.85) (4.285)	29.98
5	0.278 (0.3552) (124.39) (4.285)	52.63
10	0.278 (0.4043) (143.96) (4.285)	69.33
25	0.278 (0.4568) (168.66) (4.285)	91.78
50	0.278 (0.4902) (186.99) (4.285)	109.19
100	0.278 (0.5197) (205.19) (4.285)	127.03
200	0.278 (0.5459) (223.33) (4.285)	145.23
500	0.278 (0.5765) (247.25) (4.285)	169.80
1000	0.278 (0.5970) (265.32) (4.285)	188.69

- **Método del hidrograma unitario triangular**

<p>Las características del hidrograma unitario triangular están dadas por las siguientes ecuaciones:</p> $Q_p = 0.566 \frac{he A}{n T_p}$	<p>Donde:</p> <p>he = lámina de lluvia efectiva, en mm:  A= área de la cuenca, <math>km^2</math>  Tp= tiempo pico, h  n= factor de corrección por área</p>
---	--

El área y la precipitación en exceso han sido determinadas anteriormente, n se determina a partir de la relación que se encuentra dentro del recuadro:

$$n = \begin{cases} 2 & \text{Para cuencas con } A < 250 \text{ km}^2 \\ 2 + \frac{A - 250}{1583.33} & \text{Para cuencas con } A \geq 250 \text{ km}^2 \end{cases}$$

Por su parte, el **Tiempo pico ( $T_p$ )**, se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$T_p = \frac{T_c}{2} + 0.6 T_c; \text{para cuencas pequeñas}$ $T_p = \sqrt{T_c} + 0.6 T_c; \text{para cuencas grandes}$	Donde: $T_c$ = tiempo de concentración, h
---	--

$$T_p = \frac{1.36}{2} + 0.6 (1.36) = 1.5$$

Con los valores de  $H_e$ , el valor del área de la cuenca, y el tiempo de concentración determinado, se calcula el gasto máximo de acuerdo al método del hidrograma unitario triangular ver la siguiente tabla.

Periodo de retorno (Años)	$Q_p = 0.566 \frac{h_e A}{n T_p}$	$Q_{\text{máx}} = m^3/seg$
2	$Q_p = 0.566 \frac{34.22 (4.285)}{2 (1.5)}$	27.18
5	$Q_p = 0.566 \frac{60.09 (4.285)}{2 (1.5)}$	47.72
10	$Q_p = 0.566 \frac{79.15 (4.285)}{2 (1.5)}$	62.86
25	$Q_p = 0.566 \frac{104.77 (4.285)}{2 (1.5)}$	83.20
50	$Q_p = 0.566 \frac{124.67 (4.285)}{2 (1.5)}$	99.00
100	$Q_p = 0.566 \frac{145.03 (4.285)}{2 (1.5)}$	115.18
200	$Q_p = 0.566 \frac{165.82 (4.285)}{2 (1.5)}$	131.69
500	$Q_p = 0.566 \frac{193.84 (4.285)}{2 (1.5)}$	153.94
1000	$Q_p = 0.566 \frac{215.41 (4.285)}{2 (1.5)}$	171.07

• **Método de Vent Te Chow**

El modelo propuesto por Ven Te Chow se basa en el concepto del hidrograma unitario y del sintético y es aplicable a una cuenca pequeña en la cual el escurrimiento es sensible a lluvias intensas y de corta duración y donde predominan las características físicas de la cuenca con respecto a las del cauce. La cuenca pequeña puede variar desde unos cuantos kilómetros cuadrados de extensión hasta un límite que Chow considera de 250 km<sup>2</sup>. La ecuación que define al gasto máximo es la siguiente:

$Q = AXYZ$	Donde: A = Área de la cuenca, km <sup>2</sup> X = Factor de escurrimiento, adimensional Y = Factor climático, adimensional Z = Factor de reducción del pico, adimensional
------------	---

Para el cálculo de X está dado por la siguiente ecuación:

$X = \frac{He}{Tc}$	Donde: He = lluvia en exceso, mm Tc = Tiempo de concentración, h
---------------------	--

Periodo de retorno Años	$X = \frac{He}{Tc}$	X
2	$X = \frac{34.22}{1.36}$	25.16
5	$X = \frac{60.09}{1.36}$	44.18
10	$X = \frac{79.15}{1.36}$	58.20
25	$X = \frac{104.77}{1.36}$	77.04
50	$X = \frac{124.67}{1.36}$	91.67
100	$X = \frac{145.03}{1.36}$	106.64
200	$X = \frac{165.82}{1.36}$	121.93
500	$X = \frac{193.84}{1.36}$	142.53
1000	$X = \frac{215.41}{1.36}$	158.39

Para determinar el **factor climático**,  $Y$ , se emplea la siguiente expresión:

$Y = 2.78 \frac{hp}{hb}$	Donde: hp = Altura de precipitación en la duración de la tormenta, mm hp <sub>b</sub> = Altura de precipitación en la estación base, en la duración de la tormenta, mm
--------------------------	--

Para el cálculo del factor  $Y$ , y como se trata de una cuenca pequeña con sólo una estación de lluvia analizada, se supone que  $hp = hp_b$ , por lo que la ecuación se simplifica como sigue:

$$Y = 0.278$$

Para determinar el parámetro  $Z$  de la ecuación, se calcula la relación entre el tiempo de concentración y el tiempo de retraso ( $T_c / tr$ ). Este último está definido como:

$tr = 0.00505 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$	Donde: tr = tiempo de retraso, h L = Longitud del cauce principal, m, S = Pendiente media del cauce
---	---

Por lo que el tiempo de retraso para la cuenca estudiada es de:

$tr = 0.00505 \left( \frac{6315}{\sqrt{0.95}} \right)^{0.64} = 1.38$	Por lo que $\frac{T_c}{tr} = \frac{1.36}{1.38} = 0.99$
--	--

El método de Chow establece que si la relación entre el tiempo de concentración y el tiempo de retraso es mayor a dos, entonces el factor  $Z$  es igual a 1, de lo contrario es necesario determinar dicho factor, el cual emplea como dato de entrada la relación entre el tiempo de concentración y el de retraso.

$\frac{T_c}{tr} = 0.99 \leq 2 \text{ por lo que } z = 0.87$
---

Finalmente, con los valores de  $X$  mostrados en el, así como los valores de  $A$ ,  $Y$  y, respectivamente, se determina el gasto máximo con este método, cuyos resultados se muestran en el cuadro siguiente:

- **Cálculo del gasto máximo, Q, empleando el método de Ven Te Chow**

Periodo de retorno Años	Q= A X Y Z	Q <sub>máx</sub> = m <sup>3</sup> /seg
2	Q= 4.285 (25.16)(0.278)(0.87)	26.08
5	Q= 4.285 (44.18)(0.278)(0.87)	45.79
10	Q= 4.285 (58.20)(0.278)(0.87)	60.31
25	Q= 4.285 (77.04)(0.278)(0.87)	79.84
50	Q= 4.285 (91.67)(0.278)(0.87)	95.00
100	Q= 4.285 (106.64)(0.278)(0.87)	110.52
200	Q= 4.285 (121.93)(0.278)(0.87)	126.32
500	Q= 4.285 (142.53)(0.278)(0.87)	147.71
1000	Q= 4.285 (158.39)(0.278)(0.87)	164.15

- **Resumen de los gastos máximos obtenidos con los 3 métodos empleados**

En el cuadro siguiente se muestran los resultados obtenidos a partir del método racional, hidrograma unitario y Ven Te Chow

Tr años	Q <sub>máx</sub> = m <sup>3</sup> /seg		
	Racional	Hidrograma UT	Ven Te Chow
2	29.98	27.18	26.08
5	52.63	47.72	45.79
10	69.33	62.86	60.31
25	91.78	83.20	79.84
50	109.19	99.00	95.00
100	127.03	115.18	110.52
200	145.23	131.69	126.36
500	169.80	153.94	147.71
1000	188.69	171.07	164.15

- **Escorrimento medio**

$$V_m = C P_m A$$

Donde:

***V<sub>m</sub> = Volumen medio que puede escurrir (m<sup>3</sup>)***

A = Área de la cuenca (ha)

C = Coeficiente de escurrimento (adimensional) Cuadro pagina 47

P<sub>m</sub> = Precipitación media (mm)

Estimar el volumen medio de la cuenca en estudio

Terrenos planos (80.668%), de textura gruesa, con cultivo (421.024 ha) (C = 0.10)

Terrenos boscoso plano (19.332%) , de textura gruesa (100.9 ha) (C =0.30)

Precipitación media anual es de 905 mm.

Coeficiente ponderado:

$$\frac{421.03(0.10) + 100.9(0.30)}{428.5} = 0.17$$

$$V_m = (0.17) (905) (428.5) (10)$$

$$V_m = 659297.25 \text{ m}^3$$

• **Método de Envoltentes Creager, Lowry**

Estos métodos toman en cuenta solo el área de la cuenca y el coeficiente regional desarrollado por la comisión nacional del agua. Aunque no son métodos que analicen propiamente la relación entre la lluvia y el escurrimiento, son de enorme utilidad en los casos en que se requieran solo estimaciones gruesas de los gastos máximos probables, o bien cuando se carezca casi por completo de información.

Ejemplo de aplicación:

**ENVOLVENTE DE CREAGER**

Datos :

Área de la cuenca

$A_c = 34285221.518m^2$

$A_c = 34.285km^2$

$C_{CREAGER} = 62$  (tabla 4.3 dependiendo región hidrológica)

Se obtiene el parámetro empírico

$$\alpha = \frac{0.936}{A_c^{0.048}}; \alpha = \frac{0.936}{(34.285km^2)^{0.048}}$$

$$= 0.7899$$

Obtenemos el gasto máximo por unidad de área q:

$$Q_p = 1.303 C_c (0.386 A_c)^\alpha A_c^{-1}$$

$$q = 1.303 (62)[0.386(34.285km^2)]^{0.7899} * (34.285km^2)^{-1}$$

$$= 14.8388m^3/seg/km^2$$

**Gasto máximo de la cuenca**

**$Q_{m\acute{a}x} = q * A_c$**

$$Q_{m\acute{a}x} = 14.8388m^3/seg/km^2 * (34.285km^2) =$$

$$508.74m^3_{seg}$$

**ENVOLVENTE DE LOWRY**

Datos :

Área de la cuenca

$A_c = 34285221.518m^2$

$A_c = 34.285km^2$

$C_{LOWRY} = 3000$  (tabla 4.4 dependiendo región hidrológica)

Obtenemos el gasto máximo por unidad de área q:

$$q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}} q = \frac{3000}{(34.285km^2 + 259)^{0.85}}$$

$$= 23.9842m^3/seg/km^2$$

**Gasto máximo de la cuenca**

**$Q_{m\acute{a}x} = q * A_c$**

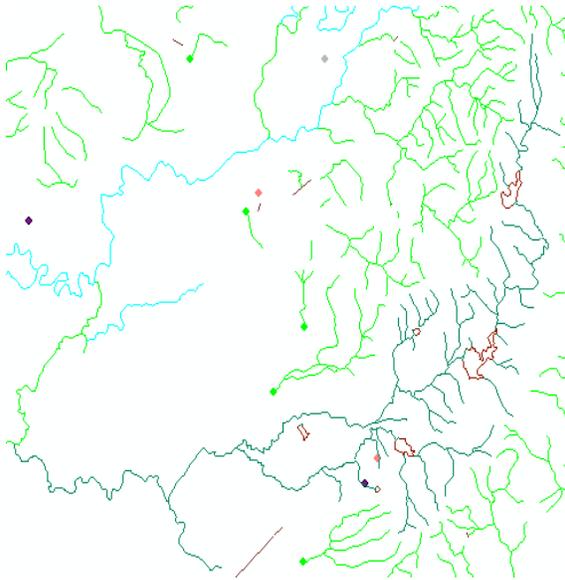
$$Q_{m\acute{a}x} = 23.9842m^3/seg/km^2 * (34.285km^2)$$

$$822.29m^3_{seg}$$

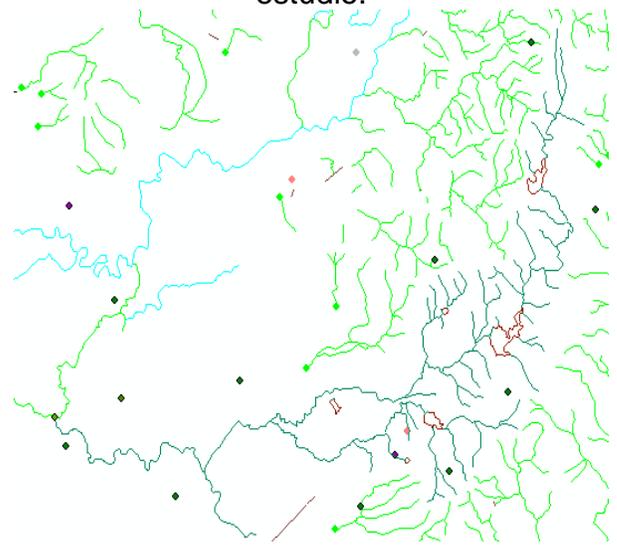
- **Ejemplo demostrativo para obtener parámetros de drenaje de una cuenca**

Solo para fines de ejemplificación se tomó una cuenca del estado de Tepic y se trabajo en el programa ArcView esto únicamente con el fin de dar a conocer una opción para obtener parámetros de drenaje de la cuenca realizando los cálculos en Excel con los datos obtenidos del software Arcview.

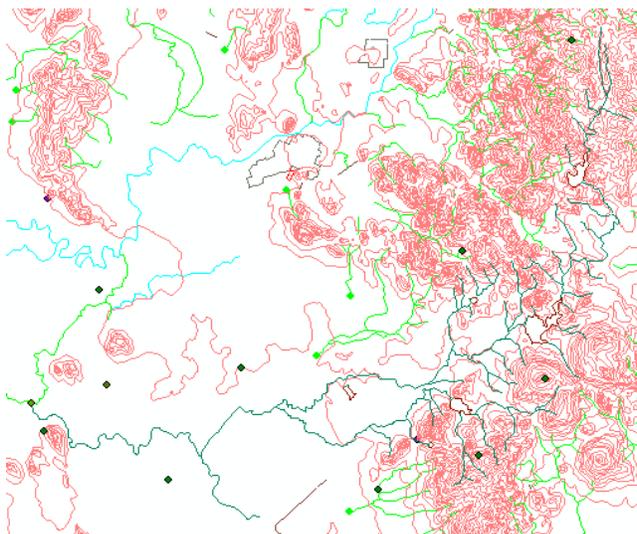
1.- Se seleccionó la cuenca y se delimitó



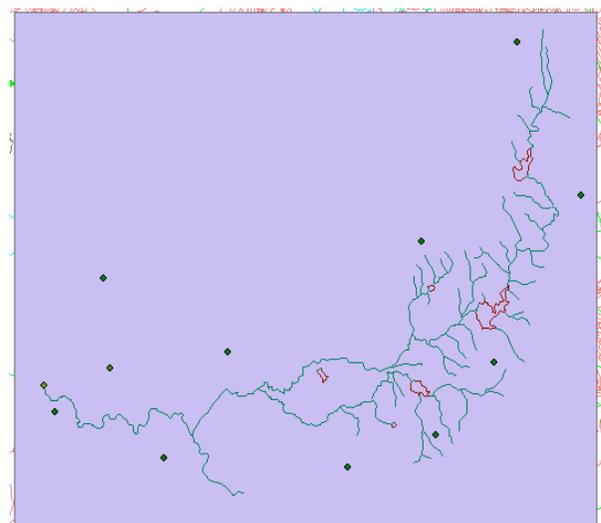
2.-Se ubicaron las estaciones climatológicas cercanas a la cuenca en estudio.



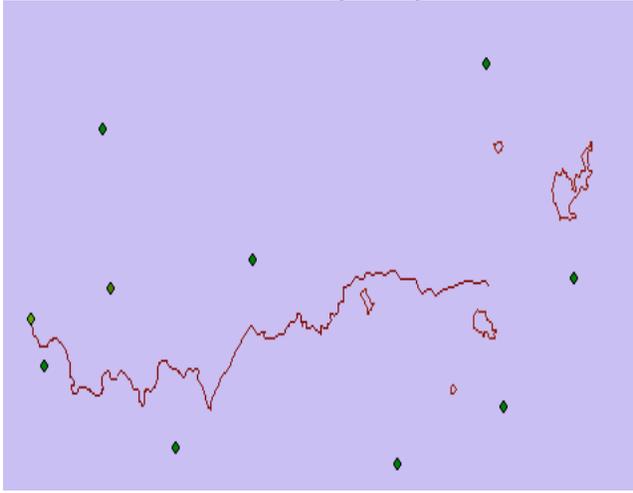
3.-Se obtuvieron las curvas de nivel



4.-Obtención del área de la cuenca y polígono envolvente



4.-Trazo y obtención de la longitud del perfil del cauce principal



5.-Se obtuvieron los polígonos de Thissen

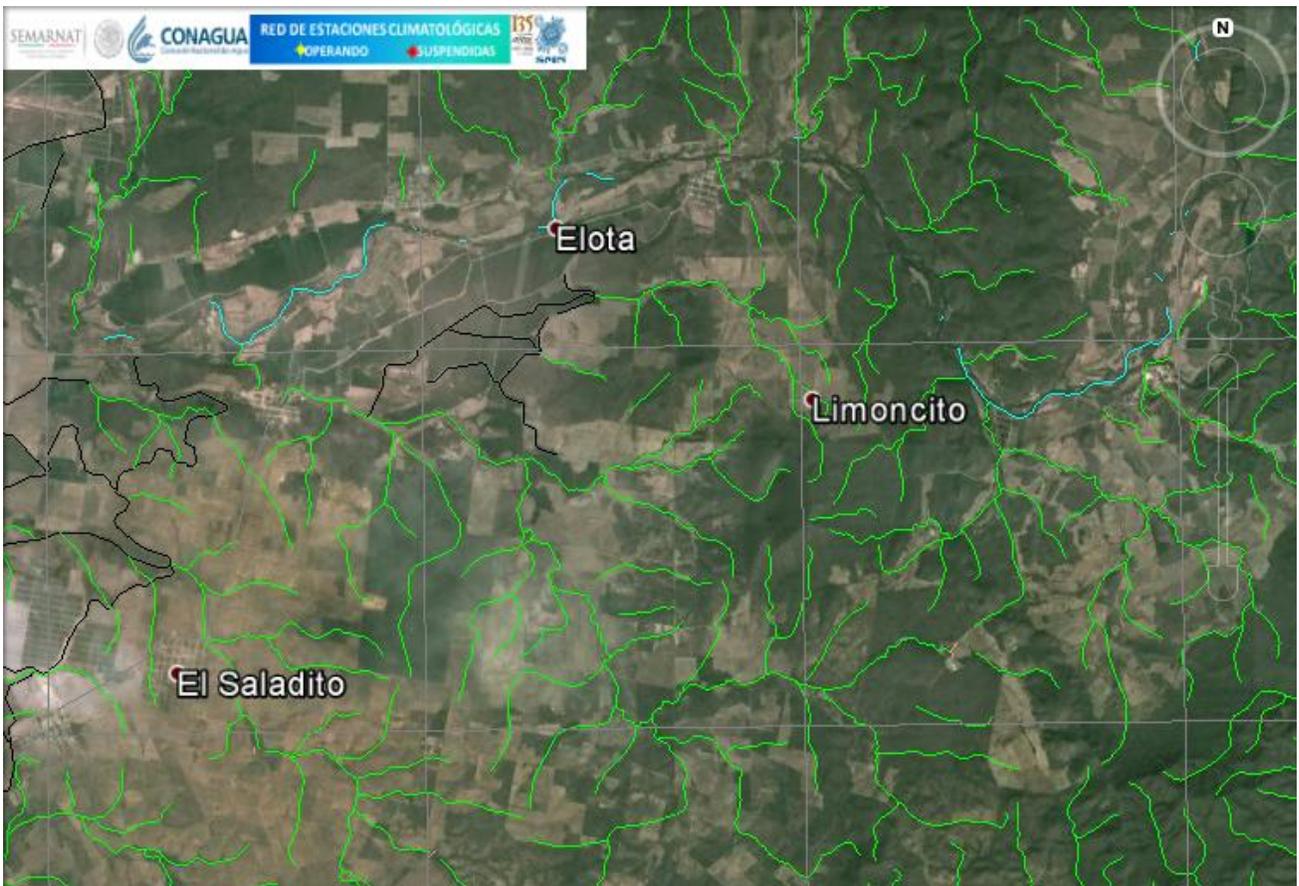
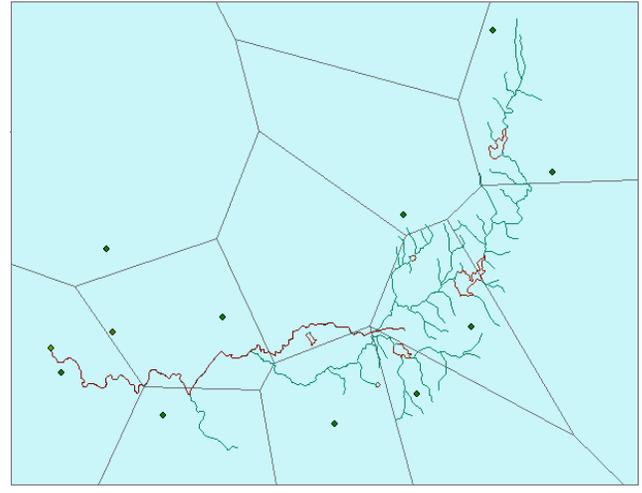


Imagen en superposición en google earth archivo con formato KMZ

6.- Cálculos correspondientes con ayuda de las curvas de nivel.

0.02738	0.85984	0.39738	0.29104	0.10375	0.12757
1.54524	0.37461	0.24637	0.42111	0.03692	0.37003
0.93451	0.31431	0.08996	0.52638	9.21016	0.16341
0.39011	0.2486	3.22396	1.17111	1.66525	0.05057
0.08883	0.16799	3.08503	0.05894	0.27119	0.10687
0.05119	0.02669	1.59418	0.06257	0.08366	0.23143
2.4103	0.72533	0.51749	5.37962	0.22574	0.29768
0.08933	0.8249	0.34128	0.08885	0.25059	0.22428
0.04997	0.34744	0.4258	0.08842	0.06758	5.57303
0.19136	0.31148	0.2654	0.07201	3.17929	0.174
4.75966	0.26028	0.07951	0.07356	0.05297	2.58097
3.75709	0.43523	0.26005	0.58257	0.59365	0.26676
0.69574	0.353	0.18892	0.21357	0.10898	4.41365
0.54812	0.08298	0.02254	0.23497	2.22041	0.71693
0.25426	3.55161	0.10672	0.20957	2.5791	0.63537
4.19224	4.75454	0.04398	0.32696	2.64276	0.60632
4.15696	0.06953	0.11009	1.07229	2.85358	0.23626
0.14745	0.09051	0.21898	1.3761	1.60344	0.15412
0.20899	0.38637	0.55556	1.48098	0.63461	1.06043
2.80524	0.21163	0.36784	1.6665	0.14907	0.72727
0.10534	13.97558	0.12452	1.85817	0.0477	0.38178
0.30969	0.25757	0.46664	0.10336	0.37003	0.20714
0.5027	2.57131	0.17106	1.83013	0.13566	0.11437
0.83901	2.61583	0.26473	4.50845	2.11365	0.11648
1.01846	0.50922	0.79507	3.34405	0.29632	0.08973
1.26015	0.38206	0.61805	3.50325	0.17873	0.04446
1.16044	0.2586	0.56985	3.16222	0.11297	1.0933
0.83824	16.94269	0.31835	2.48538	0.02625	0.823
1.08636	0.7225	0.17133	2.04211	1.40913	0.63735
0.59863	0.10348	0.05339	1.25902	0.02721	0.56063
0.26681	0.05594	0.27273	0.8902	1.07499	0.41875
0.15976	1.50529	0.10071	0.59809	0.9621	0.27397
1.33993	1.145	0.26473	0.38681	0.83772	0.15962
0.13579	1.05252	0.02814	0.76761	0.74855	0.10781
0.76914	0.16935	0.10375	0.68169	0.53658	0.04975
0.17502	0.6496	0.15653	0.14844	0.35199	0.03636
0.1046	0.55451	0.24018	2.22541	0.22174	0.01878
				<b>ΣT=</b>	<b>219.72</b>

• **Cálculo de los parámetros de drenaje de una cuenca.**

AREA DE LA CUENCA		MÉTODO DE ALVÓRD		LONGITUD DE LAS CORRIENTES DE AGUA, KM	
28691595.71	m <sup>2</sup>			58.85	Km
		PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA			
28.6916	Km <sup>2</sup>	$Sc = \frac{D \text{ Lcurvas}}{Ac}$		LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL, KM	
		DONDE:		11.78	Km
DESNIVEL CONSTANTE		Sc= Pendiente media de la cuenca, adimensional			
20	m	D= Desnivel constante entre curvas de nivel de nivel, Km			
		Ac= Área de la cuenca, Km <sup>2</sup>		NO. TOTAL DE CORRIENTES	
0.02	Km	$Sc = \frac{0.02 * 219.72852}{28.6916}$		52	
		0.1532			

DENSIDAD DE DRENAJE		DENSIDAD DE CORRIENTE	
$Dd = \frac{L}{A}$		$Dc = \frac{\text{No.Total de corrientes}}{A}$	
DONDE:		$Dc = \frac{52}{28.6916}$	
L= Longitud de las corrientes de agua, Km		1.812377142	
A= Área total de la cuenca Km <sup>2</sup>			
$Dd = \frac{58.85}{28.6916}$	2.0511		

- **Cálculo de los parámetros de drenaje de una cuenca**

PRIMER METODO		METODO ARITMÉTICO DE PRECIPITACIÓN MEDIA	
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL		ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN
$S1 = \frac{\Delta H}{L}$		1	110
		2	200
		3	123
		4	155
		5	240
$\Delta H$	20	6	116
		7	138
		8	165
$L$	8	9	111
		10	189
			1547
$S1 = \frac{20}{8}$	2.5		

$$hp = \frac{\sum hp}{N}$$

$$hp = \frac{1547}{10} = 154.7$$

METODO ARITMÉTICO DE PRECIPITACIÓN MEDIA		MÉTODO DE POLIGONOS DE THIESSEN	
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	ALTURAS DE PRECIPITACIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES Km <sup>2</sup>	
1	110	8.1	
2	200	7.32	
3	123	7.35	
4	155	8.3	
5	240	11.52	
6	116	7.69	
7	138	13.85	
8	165	20.87	
9	111	12.62	
10	189	30.7	
	1547	128.32	

$$hp = \frac{\sum hp}{N}$$

$$hp = \frac{\sum hp * \sum Ainf}{A}$$

$$hp = \frac{1547}{10} = 154.7$$

$$hp = \frac{1547 * 128.32}{28.6916} = 6918.785$$

# **CONCLUSIONES**

**Y**

# **RECOMENDACIONES**

## ➤ CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el proceso de elaboración de este documento se fue cumpliendo con el objetivo general para el cual fue desarrollado, ya que la combinación de métodos y fórmulas empíricas con software que se ponen a disposición de los usuarios hicieron posible el aforo de la cuenca que se decidió ocupar para el presente trabajo y con diferentes métodos se lograron obtener los gastos máximos para diferentes periodos de retorno haciendo un comparativo de los distintos resultados obtenidos con cada uno de los métodos utilizados, a demás de que se pudieron obtener parámetros de drenaje de otra cuenca de igual manera combinando fórmula empíricas con software para efectos demostrativos.

Se pudo comprobar que también al trabajar con distintos software y combinarlos unos con otros para el caso de imágenes satelitales nos brinda un margen de ayuda enorme, porque dentro del objetivo, se planteó la situación de que en ocasiones se pueden presentar zonas de difícil acceso o simplemente que no se tenga la disposición de acudir al lugar a realizar el aforo, provoca que no se realicen estudios hidrológicos que ayuden a la detección de una avenida máxima y prevención para las personas que se encuentran cerca del lugar, en este caso se demostró que al obtener las coordenadas que nos puedan ubicar en el punto de interés con ayuda de Google Earth herramienta digital gratuita se puede lograr delimitar el área de la cuenca de interés y al trabajarlo de manera simultánea con otros software estos nos facilitan la obtención de datos que nos ayudan al aforo y al cálculo del escurrimiento máximo.

Como se puede visualizar en el presente documento se muestran distintas series de tablas, mapas y fórmulas, esto se hizo con el fin de que se tengan al alcance y actualizados los coeficientes que son utilizados en la mayoría de los métodos empíricos y que únicamente se sustituyan los valores en las fórmulas correspondientes de acuerdo a las características que presente la cuenca en estudio, en este trabajo sólo para ejemplificar como se obtienen algunos de estos coeficientes se llevó a cabo el cálculo de varios de ellos, así de esta manera se brinda un complemento por si no se cuentan con las tablas de coeficientes, si se cuentan con las fórmulas para el cálculo de estos, además de que si se requiere hacer el aforo o se deseen conocer y utilizar los métodos que le ayuden a obtener escurrimientos máximos ya se cuentan con los factores y coeficientes teniendo acceso de manera rápida .

En cuanto a las imágenes, lo que se logró es un mejor entendimiento, con los iconos gráficos y la explicación que los acompaña, enriquece y da una mejor perspectiva al lector y lo va guiando en el contexto de lo que se le pretende dar a conocer.

Sin embargo se presentó una problemática en el transcurso de la elaboración del documento, uno de los portales de internet SIATL que el INEGI pone a disposición de los usuarios, lo suspendieron debido a que al portal estuvo en mantenimiento, enviando un aviso de que el portal entraría en funcionamiento después de una semana, de este portal se iban a obtener algunos datos para aforar la cuenca Arroyo Quebrantahuesos.

Al final ya no fue necesario porque con las fórmulas que se manejan dentro del presente trabajo se obtuvieron los coeficientes y datos que el portal de internet SIATL nos iba a proporcionar, demostrando de esta manera que este documento y su contenido puede ser de gran utilidad en el caso de que también no se tenga acceso a herramientas interactivas que nos ayuden a la obtención de datos.

En cuestión a la obtención de los gastos máximos el documento nos llevó de la mano para realizar los cálculos adecuados, en el caso de la cuenca Arroyo Quebrantahuesos, se obtuvieron los gastos por distintos métodos y para diferentes periodos de retorno de una manera sencilla y rápida la cual fue otra de las situaciones que el objetivo general planteó al inicio y que se logro cumplir; tener una herramienta que facilite los cálculos al seguir los pasos que nos indica el documento.

Se recomienda utilizar este documento siguiendo el procedimiento que se llevó a cabo en este trabajo para obtener las características geomorfológicas y fisiográficas de la cuenca de interés y posteriormente seguir los pasos para obtener los gastos máximos ya que se realizó con una metodología en la que al lector se le facilite el entendimiento del mismo y pueda llevar a cabo los cálculos que le sean de su interés ya sea que utilice las herramientas digitales que se mencionaron aquí o únicamente utilizando los formularios, mapas y tablas que aquí aparecen.

# BIBLIOGRAFÍA

## ➤ FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

➤ Autor: Bedient, Philip B.,

Título: Hydrology and floodplain analysis

Editorial: Prentice Hall

Lugar: Oregon State University

Año: 1998

Páginas: 215 a 242

➤ Autor: Campos, Aranda Daniel

Título: Procesos del Ciclo Hidrológico,

Editorial: Universitaria Potosina

Lugar: San Luis Potosí, México

Año: 1998

Páginas: 2-2 a 2-27

➤ Autor: CONAGUA,

Título: Cuaderno de estadísticas del agua en México.

Editorial. SEMARNAT

Lugar: México

Año: 2011

Páginas: 16 a 37

➤ Autor: Mario Amsler

Título: Río Paraná

Editores. Ubaldo Paoli, Carlos, Schreider, Mario .

Lugar: Santa Fe, Argentina

Año: 2000

Páginas: 30 a 46

- Autores: Dr. Martínez Menes, Mario. Dr. Fernández Reynoso Demetrio.

Título: Hidrología aplicada a pequeñas obras,

Editorial: Sagarpa

Lugar: Colegio de Postgraduados México

Año: 2006

Páginas: 6 a 11

- Autor: Linsley, Ray K

Título: Hidrología para ingenieros

Editorial: MCGRAW-HILL / Interamericana de México

Lugar: Bogotá, Colombia

Año: 1967

Páginas: 183 a 211 y 233 a 255

- Autores Dr. Arreguín Cortés, Felipe I. Dr. Rosengaus Moshinsky. Michel Dr. Acosta Godínez, Antonio, Chávez Guillen, Ing. Rubén. Ing. López Pérez, Mario

Título: Manual para el control de inundaciones

Editorial: SEMARNAT

Lugar: México D.F.

Año: 2011

Páginas: 9 a 18, 65 a 85 y 90 a 96

- Autor: McCuen, Richard

Título: Hydrologic analysis and design

Editorial: Prentice Hall

Lugar: New Jersey

Año: 2005

Páginas: 97 a 162, 172 a 209 y 326 a 352

- Autor: Monsalve Sáenz, Germán

Título: Hidrología en la ingeniería

Editorial: Alfa y Omega

Lugar: México

Año: 1999

Páginas: 43 a 82

- Autores: Musy André, Christophe Higy,

Título: Hydrology A Science of Nature

Editorial: Taylor and Francis Group;

Lugar: Vevey, Switzerland

Año: 2011

Páginas: 71 a 88, 122 a 133 y 290 a 306

- Patra, K. C,

Título: Hydrology and water resources engineering floodplain analysis.

Editorial: Narosa Publishing House

Lugar University of Oxford

Año: 2008

Páginas: 53 a 98

- Título:Revista Ingeniería Investigación y Tecnología,

Editorial: UNAM

Volumen XIV (número 4),

Octubre-Diciembre 2013

Ciudad Universitaria México

Paginas: 24 a 27

➤ Autor: Viessman, Warren

Título: Introduction to hydrology

Editorial: Harper Collins College Publishers

Lugar: Nueva York

Año: 2007

Paginas: 35 a 52

## FUENTES ELECTRÓNICAS

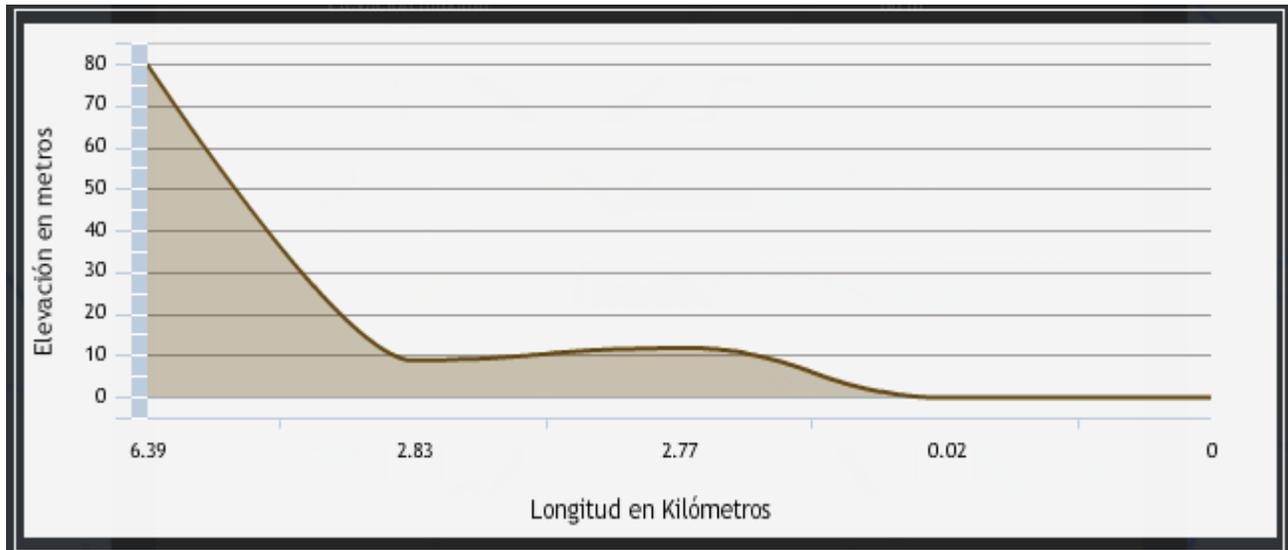
- <http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=comcontent&view=category&id=42&Itemid=30002>
- [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/naturaleza/estadisticaam/informe/acrobat/capitulo2-1-3.pdf](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/naturaleza/estadisticaam/informe/acrobat/capitulo2-1-3.pdf)
- [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#app=f4c9&4b36-selectedIndex=0](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#app=f4c9&4b36-selectedIndex=0)
- <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/regionalizacion.pdf>
- <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2011.pdf>
- <http://www.conagua.gob.mx/atlas/index.html>
- [http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=145](http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=145)
- <http://www.inegi.org.mx/>
- <http://www.conabio.gob.mx/>

# ANEXOS

## ANEXOS

El Arroyo Quebrantahuesos se encuentra en Oaxaca en el municipio de Santa María Tonameca en la entrada se encuentra en la coordenada Norte 15° 46` 30" Oeste 96°48`28" y en la salida las coordenadas son Norte 15, 43 59 w 96 49 21 se obtuvieron con el simulador SIATL.

### Perfil de elevaciones del cauce principal

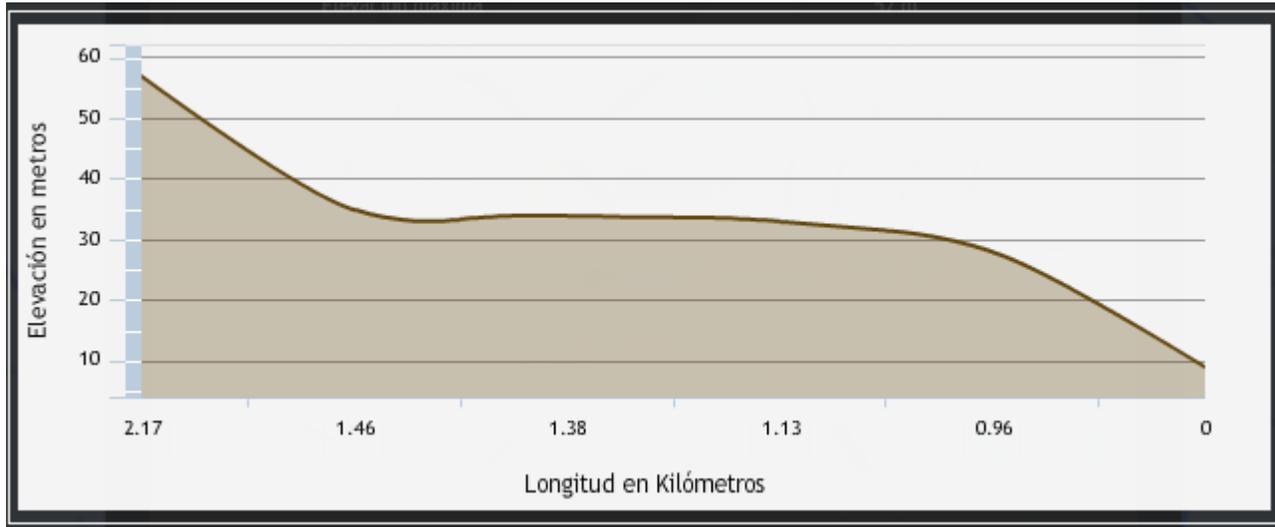


### Aforo de corrientes tributarias



Propiedad	Valor
Elevación máxima	57 m
Elevación media	42 m
Elevación mínima	28 m
Longitud	2179 m
Pendiente Media	1.3308 %
Tiempo de Concentración	35.78 (minutos)
Área Drenada	1.44 km <sup>2</sup>

**Perfil de elevaciones tributario**



**COORDENADAS DE ORIGEN DEL ARROYO QUEBRANTAHUESOS**

Para identificar la zona de interés en google earth se utilizó un convertidor de coordenadas.

Las coordenadas de la cuenca en estudio se obtuvieron con el programa SIATL del INEGI y para convertirlas utilizamos el portal de internet con el siguiente link <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php>

Ya que se ingresa al portal, se observa que se brindan distintas opciones para convertir las coordenadas en el caso del ejemplo se brindan las coordenadas en grados minutos y segundos.

**Coordenadas de origen**

Grados Minutos Segundos ▾

Grados Minutos Segundos  
 Grados Minutos Segundos  
 Grados  
 UTM (30T 1234 12345)  
 MGRS (30TTP123123)

Longitud relleno por separado los grados, minutos y segundos.

Latitud:  °  '  "

N  S

Longitud:  °  '  "

E  O

Ya que se ingresan los datos se presiona el botón convertir y nos arroja una serie de distintas coordenadas las que se van a utilizar para localizar el punto de interés en google earth son las coordenadas que aparecen con las letras G.g.

Estas coordenadas se van a copiar y posteriormente ya que se tiene el programa google earth disponible se ubica el apartado buscar y se pegan las coordenadas G.g que se obtuvieron en el portal de internet y se oprime el botón este enseguida va a mostrar en la pantalla la ubicación del punto de interés.

Grados Minutos Segundos ▾

Coordenadas en Grados Minutos Segundos

Introduzca la latitud y longitud rellenando por separado los grados, minutos y segundos.

Latitud: 15 ° 46 ' 30 " ↻

N  S

Longitud: 96 ° 48 ' 28 " ↻

E  O

Coordenada	Valor
UTM	14 P 734859 1745269
MGRS	14PQC34854526
G M S.s	15 46 30.0 N, 96 48 28.0 O
G M.m	15 46.500 N, 96 48.467 O
G.g	15.775, -96.80777777777777

Coordenada	Valor
UTM	14 P 734859 1745269
MGRS	14PQC34854526
G M S.s	15 46 30.0 N, 96 48 28.0 O
G M.m	15 46.500 N, 96 48.467 O
G.g	15.775, -96.80777777777777

Copiar Ctrl+C

Buscar '15.775, -96.80777777777777' con Google

Imprimir...

Inspeccionar elemento

**Google Earth**

Archivo Editar Ver Herramientas

▼ Search

15.775, -96.80777777777777

ejemplo: Museos en Ciudad de México, D

Obtener instrucciones Historial



En estas fotografías se muestra el tipo de corrientes de agua al cual pertenece la cuenca y la información en coordenadas que nos interesa conocer.

