

26
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA SUBCUENCA
"RIO SAN BUENAVENTURA", D. F.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A N :

Oscar Resendis Pacheco
Ma. Isabel Ballesteros Escamilla

MEXICO, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCION

Para plantear las aplicaciones de la Hidrología, se debe de partir de la premisa de que el hombre no puede existir sin agua. Por lo anterior, en la época actual, el conocimiento de la Hidrología y el disponer de gente preparada en este campo es de importancia fundamental para un efectivo manejo del agua, trascendental para nuestra sociedad.

Dado que el agua continental es un líquido vital y escaso, es lógico pensar que debemos contar con técnicas adecuadas para la planeación, manejo y desarrollo de los aprovechamientos hidrológicos del país. En la planeación y manejo efectivo del recurso agua es el compromiso del geógrafo, así como de otros profesionistas y sólo es posible alcanzarlo si se entiende claramente la importancia de este recurso. Por otra parte, se requieren de modelos matemáticos confiables para evaluar y predecir el funcionamiento de los sistemas hidrológicos.

En nuestro país los estudios hidrológicos se utilizan para el riego de cultivos, generación de energía eléctrica, dotación de agua potable, demarcación de zonas federales y control de escurrimientos.

La mayoría de los ríos que escurren en el Distrito Federal presentan, un potencial hidrológico muy importante; a su vez se convierten en peligro durante la época de lluvia, originando grandes avenidas e inundación en las zonas agrícolas y en especial, en los asentamientos humanos.

Por lo anterior el presente estudio tiene como fin, determinar las características hidrológicas de la subcuenca "Río San Buenaventura", D.F., con el propósito de evaluar la magnitud de los escurrimientos que se presentan en la zona.

El estudio se divide en cuatro capítulos y contempla un glosario de términos hidrológicos.

En el primer capítulo se consideran aspectos físicos de una cuenca hidrológica como son: relaciones geométricas, de forma y topográficas; además se hace una descripción en forma general de la hidrografía que integra la Cuenca de México.

En el segundo capítulo se estudian los aspectos físicos de la subcuenca "Río San Buenaventura" como son: fisiografía, geología, clima, hidrología, suelo y uso del suelo.

En el tercer capítulo se calcula y analizan los aspectos cli

matológicos como: la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia en diferentes periodos de retornos, así como la obtención de los escurrimientos en base a la metodología generada por el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América. En el último capítulo se estima el gasto máximo probable para los periodos de retornos de 5, 10, 50 y 100 años, para lo cual se emplearon los métodos indirectos de Gregory-Arnold y Ven Te Chow.

CAPITULO 1. CUENCA HIDROLOGICA

1.1 Características físicas de una Cuenca

Se considera como una cuenca hidrológica a la porción continental que actúa como una superficie de recepción de las precipitaciones en un sistema de laderas y de cauces, delimitadas por medio de líneas denominadas; divisorias de las aguas, parteaguas o líneas de intercuenca, a partir de las cuales se originan los escurrimientos superficiales de agua hacia los cauces en donde éstos se van uniendo hasta llegar al colector principal.⁽¹⁾

El escurrimiento en una cuenca depende de diversos factores; entre los que destacan las características físicas, Entre éstas se pueden mencionar las siguientes relaciones:

- a) Geométricas.
 - b) De Formas.
 - c) Topográficas.
- a) La relación geométrica comprende: área, perímetro, longitud del cauce principal y perfil longitudinal. Generalmente, estos parámetros se determinan utilizando las cartas topográficas existentes de la región y por el método

gráfico-mecánico del planímetro y el curvímetro, se cuantifica el área y la longitud del cauce respectivamente.

- b) La relación de forma se basa en la comparación de figuras geométricas, las que permiten definir el tiempo que tarda un escurrimiento superficial en salir desde su punto más alejado. Asimismo se hará la comprobación o demostración analíticamente de la forma de la cuenca. Para lo cual existen varios índices con los que se puede determinar la forma de las cuencas, destacando entre ellos el Coefficiente de Compacidad o índice de Gravelius.

Gravelius definió el llamado coeficiente de compacidad (K_c) como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia (P_c) de un círculo con área igual al tamaño (A) de la cuenca en Km.^2 . La expresión que define este concepto es la siguiente: (2)

$$K_c = \frac{P}{P_c} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El coeficiente de Compacidad tiene como límite inferior la unidad, lo que indica que la cuenca es circular y conforme su valor crece, indicará una mayor distorsión en su forma, es decir, se vuelve alargada o asimétrica.

gráfico-mecánico del planímetro y el curvímetro, se cuantifica el área y la longitud del cauce respectivamente.

- b) La relación de forma se basa en la comparación de figuras geométricas, las que permiten definir el tiempo que tarda un escurrimiento superficial en salir desde su punto más alejado. Asimismo se hará la comprobación o demostración analíticamente de la forma de la cuenca. Para lo cual existen varios índices con los que se puede determinar la forma de las cuencas, destacando entre ellos el Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius.

Gravelius definió el llamado coeficiente de compacidad (K_c) como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia (P_c) de un círculo con área igual al tamaño (A) de la cuenca en Km.^2 . La expresión que define este concepto es la siguiente: (2)

$$K_c = \frac{P}{P_c} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El coeficiente de Compacidad tiene como límite inferior la unidad, lo que indica que la cuenca es circular y conforme su valor crece, indicará una mayor distorsión en su forma, es decir, se vuelve alargada o asimétrica.

La causa por la que se compara la forma de la cuenca a la de un círculo, es porque las cuencas con ésta forma o similar a ella, tienen la mayor posibilidad de producir avenidas de mayor magnitud.

- c) Entre las relaciones topográficas más usuales se encuentran: la pendiente media, y la equivalente, así como la red de drenaje.

La pendiente de la cuenca es importante, ya que observa una relación compleja con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución de las aguas subterráneas al flujo en los cauces, siendo uno de los factores físicos que va controlar el tiempo del flujo sobre el terreno e influye directamente en la magnitud de las avenidas o crecidas.

La pendiente media se obtiene calculando la diferencia máxima de desnivel existente entre dos cotas extremas y su longitud entre ambas. La expresión aritmética que define a este concepto es la siguiente:⁽³⁾

$$P_m = \frac{C. \text{máx.} - C. \text{mín.}}{L_c} \times 100 = \frac{H}{L_c} \times 100$$

Donde:

P_m = pendiente media de la cuenca (%)

C.max. = cota máxima (m)

C.mín. = cota mínima (m)

L_c = longitud total entre ambas cotas (m)

H = Desnivel o diferencia del nivel entre la salida de la cuenca y del sitio más alejado (m)

La pendiente de la recta equivalente del cauce principal se obtiene por la pendiente de una línea recta que se apoya en el inicio o salida de la cuenca, presentando igual área arriba y abajo respecto al perfil del colector principal, es decir, el área triangular total bajo la recta es igual al área bajo el perfil del cauce. La expresión que define este concepto es la siguiente: (4)

$$S_{.eq.} = \frac{z\left(\frac{L_i}{A_i^{1/4}}\right)}{z\left(\frac{L_i}{A_i^{1/4} S_i^{1/2}}\right)}$$

Donde:

$S_{.eq.}$ = pendiente media equivalente.

L_i = longitud parcial del río.

Ai = área parcial.

Si = pendiente media.

Se llama red de drenaje de una cuenca, al sistema de cauces por los que fluyen los escurrimientos superficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de proporcionar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las principales características de la red de drenaje son:

- Tipo de corriente.
- Modelo de corriente.
- Orden de corriente.
- Densidad de corriente.

Las corrientes comunmente se clasifican en tres tipos:

1. Perenne
2. Intermitente
3. Efímera

El escurrimiento o flujo, está relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. A partir de esto las corrientes perennes conducen agua todo el año, excepto durante las sequías extremas; una corriente intermitente lleva agua la mayor parte del año, pero principalmente en época de lluvias y por último, las corrientes efímeras sólo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas.

La combinación de los efectos de la lluvia y la geología de la cuenca, originan un modelo erosional, el cual se caracteriza por el tipo de corriente. El patrón o modelo que forman los cauces, es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en la resistencia de las rocas.

Algunos de los modelos de drenaje más frecuentemente observados se ilustran en la fig. Num. 1

El orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. R.E. Horton clasificó el orden de corrientes asignando el orden 1 a las más pequeñas, es decir, aquellas que no están ramificadas; el orden 2 a las corrien-

tes que sólo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; de orden 3, aquellas con dos o más tributarios de orden 2 o menor; dos corrientes de orden 3, forman una de orden 4⁽⁵⁾.
Fig. Núm. 2

Entonces el orden de la corriente será un indicador de la magnitud de la ramificación y la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca. LA determinación del cauce o colector principal se lleva a cabo a partir del punto de salida de la cuenca hacia aguas arriba, siguiendo a la corriente del más alto orden hasta alcanzar una bifurcación de dos corrientes de igual orden entonces, la rama ocauce que tenga una mayor área de cuenca es seleccionada; a partir de tal punto el proceso se repite hasta terminar en un tributario de orden 1.

La densidad de drenaje (Dd) se define como la magnitud total (L) de los cauces dentro de la cuenca, dividido entre el área total de drenaje (A). La expresión que define este concepto es la siguiente;⁽⁶⁾

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Por lo común se encuentran bajas densidades de drenajes en regiones de rocas metamórficas o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil.

En cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas sedimentarias o de suelo impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso.

A continuación se desarrollaran cada uno de los factores físicos que afectan al escurrimiento en una cuenca.

Ejemplo de calculo de la zona de estudio.

1.- Relación Geométrica:

Características Físicas.

- a) Area de la subcuenca "Río San Buenaventura" hasta la entrada del Club de Golf México: 42.2 Km²
- b) Longitud del Río: 16.2 Km.
- c) Périmetro de la subcuenca: 37.3 Km.

2.- Relación de Forma:

- a) Coeficiente de Compacidad:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 0.28 \frac{37.3}{(42.2)^{1/2}}$$

$$Kc = 0.28(5.7418)$$

$$Kc = 1.6077: \text{ forma alargada (asimétrica)}$$

3.- Relación Topográfica:

a) Pendiente Media: Ver gráfica Núm. 1

A continuación se ordenan los valores correspondientes al perfil del Rfo San Buenaventura.

Perfil del Río San Buenaventura, D.F.

ELEVACIONES EN M.S.N.M.	L O N G I T U D PARCIAL/PARCIAL		FACTOR DE AJUSTE	L O N G I T U D AJUSTADA - ACUMULADA	
	EN Cm.	EN Km.		EN Km.	EN Km.
3935 - 3900	0.7	0.07	1.0048	0.07	0.07
3900 - 3850	1.7	0.17	1.0048	0.17	0.24
3850 - 3800	1.8	0.18	1.0048	0.18	0.42
3800 - 3750	1.2	0.12	1.0048	0.12	0.54
3750 - 3700	0.9	0.09	1.0048	0.09	0.63
3700 - 3650	1.0	0.10	1.0048	0.10	0.73
3650 - 3600	1.0	0.10	1.0048	0.10	0.83
3600 - 3550	1.1	0.11	1.0048	0.11	0.94
3550 - 3500	1.5	0.15	1.0048	0.15	1.09
3500 - 3450	1.5	0.15	1.0048	0.15	1.24
3450 - 3400	2.4	0.24	1.0048	0.24	1.47
3400 - 3350	2.7	0.27	1.0048	0.27	1.75
3350 - 3300	2.0	0.20	1.0048	0.20	1.95
3300 - 3250	3.1	0.31	1.0048	0.31	2.26
3250 - 3200	3.1	0.31	1.0048	0.31	2.57
3200 - 3150	3.1	0.31	1.0048	0.31	2.88
3150 - 3100	5.9	0.59	1.0048	0.59	3.47
3100 - 3050	8.0	0.80	1.0048	0.81	4.28
3050 - 3000	12.2	1.22	1.0048	1.23	5.51
3000 - 2950	4.8	0.48	1.0048	0.48	5.99

2950 - 2900	4.8	0.48	"	0.48	6.47
2900 - 2850	4.5	0.45	"	0.45	6.92
2850 - 2833	3.8	0.38	"	0.38	7.30
2833 - 2800	21.7	2.17	"	2.18	9.48
2800 - 2750	12.0	1.20	"	1.21	10.69
2750 - 2700	3.5	0.35	"	0.35	11.04
2700 - 2650	2.0	0.20	"	0.20	11.24
2650 - 2600	4.0	0.40	"	0.40	11.64
2600 - 2550	6.4	0.64	"	0.65	12.29
2550 - 2500	4.3	0.43	"	0.43	12.72
2500 - 2450	3.9	0.39	"	0.39	13.11
2450 - 2400	6.2	0.62	"	0.62	13.73
2400 - 2350	8.1	0.81	"	0.82	14.55
2350 - 2300	10.2	1.02	"	1.03	15.58
2300 - 2275 (SITIO)	11.7	1.17	"	1.18	16.76

S U M A: 16.68 Km. 16.76 Km.

$$\text{Factor de Ajuste: } = \frac{16.76 \text{ Km.}}{16.68 \text{ Km.}} = 1.0048$$

Longitud del rfo: 16.76 Km. Fuente: Programa
Hidráulico en el Distrito Federal SARH-CNA.

Pendientes Parciales:

TRAMO	LONGITUD PARCIAL EN Km. (B)	AREA PARCIAL EN KM ² (A)	$h = \frac{2A}{B}$	$S_m = \frac{h}{B}$	PENDIENTES PARCIALES AL MILLAR	$S^{1/2}$
1	2.88	0.910	0.631944	0.219425	219.425	14.813
2	4.43	0.750	0.338600	0.076433	76.433	8.743
3	3.40	0.173	0.101765	0.029931	29.931	5.471
4	2.41	0.333	0.276556	0.114754	114.754	10.712
5	3.64	0.241	0.132486	0.036397	36.397	6.033

b) Pendiente Equivalente:

TRAMO	LONGITUD PARCIAL EN Km. (L)	AREA PARCIAL EN KM. (A)	$A^{1/4}$	$\frac{L}{A^{1/4}}$	PENDIENTES PARCIAL (S)	$S^{1/2}$
1	2.88	1.6365	1.13104	2.54633	219.425	14.183
2	4.43	15.1395	1.97255	2.24582	76.433	8.743
3	3.40	11.8328	1.85665	1.83126	29.931	5.471
4	2.41	4.0075	1.41488	1.70332	114.754	10.712
5	3.64	9.4855	1.75495	2.07413	36.397	6.033
SUMA:	16.76	42.1518		10.40086		

$$\frac{L}{A^{1/4} S^{1/2}}$$

0.1719

0.2569

0.3347

0.1590

 0.3438

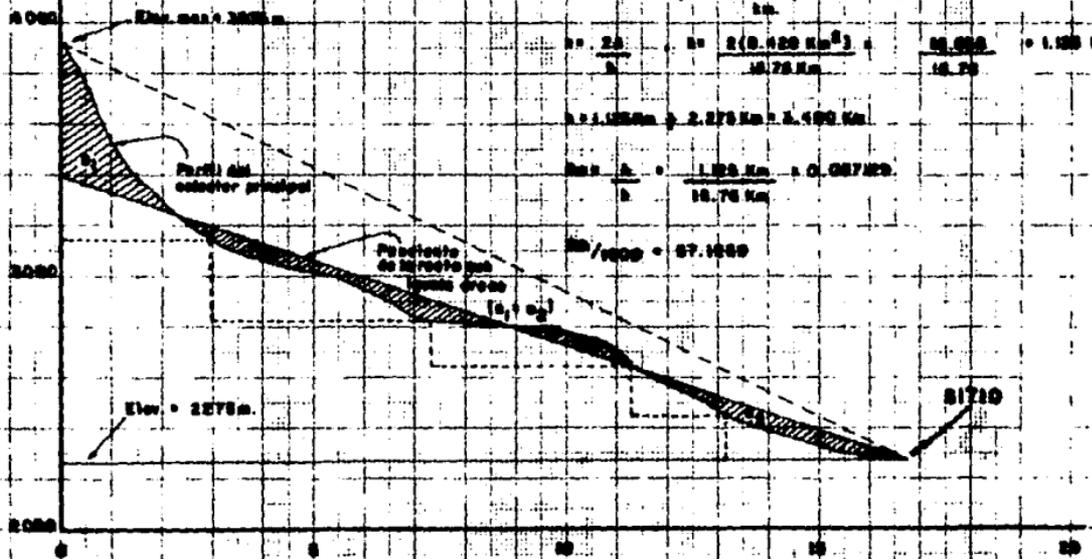
 1.2663

$$\frac{M \frac{L}{A^{1/4}}}{A^{1/4} S^{1/2}} \cdot \text{Seq.}^{1/2} = \frac{10.40086}{1.2663} = 8.2136$$

Pendiente equivalente = 67.4619

PERFIL DE LA PENTE MEDIA DEL RIO SAN SUEVA, S.F.

ELEVACION EN METROS



LONGITUD DEL CAUCE EN KILOMETROS

GRAFICA DEL PERFIL DE LA PENTE MEDIA DEL RIO SAN SUEVA, S.F.

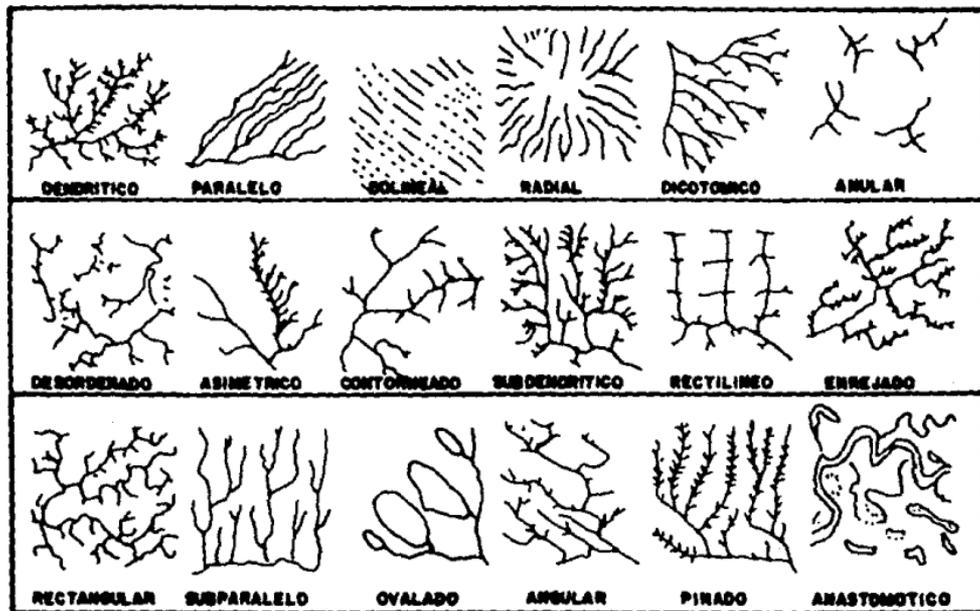
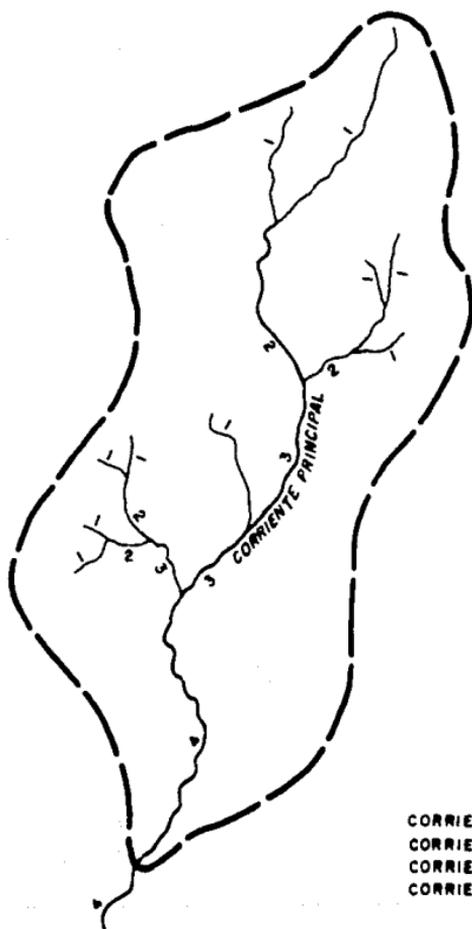


Fig. No. 1 MODELOS DE DRENAJES MAS COMUNES

FUENTE: O.F. Campos Aranda. Procesos del Ciclo Hidrológico. Vol. I. U. A. S. L. P.



CORRIENTE DE ORDEN 1
 CORRIENTE DE ORDEN 2
 CORRIENTE DE ORDEN 3
 CORRIENTE DE ORDEN 4

FIG. 2 ORDEN DE LAS CORRIENTES

FUENTE: APUNTES DE HIDROLOGIA DE SUPERFICIE
 FRANCISCO J. APARICIO MIJARES
 FACULTAD DE INGENIERIA—U.N.A.M.

1.2 Hidrografía de la Cuenca de México.

La Cuenca de México, forma parte de la Región Hidrológica Núm. 26, Río Pánuco, según la regionalización elaborada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Está situada en el extremo sureste de la Altiplanicie Mexicana, se encuentra comprendida entre los meridianos $98^{\circ} 12'$ y $99^{\circ} 31'$ de longitud Oeste de Greenwich y entre los paralelos $19^{\circ} 02'$ y $20^{\circ} 12'$ de latitud Norte. Plano Núm. 1

El área de la cuenca de México es de $9\ 600\ \text{Km}^2$, limita al norte por el resto de la Región Hidrológica Núm. 26, Río Pánuco; al oriente por la Región Hidrológica Núm. 27 Río Tuxpan Nautla; al sur con la Región Hidrológica Núm. 18 Río Balsas y al poniente con la Región Hidrológica Núm. 12, Río Lerma.

Geologicamente la Cuenca de México fue cerrada por la Sierra de Pachuca al norte y noroeste; por la Sierra Nevada con sus volcanes Ixtaccihuatl al oriente, por la serranía del Ajusco al sur y por el monte de las Cruces, la sierra de Monte Alto al sur-poniente y nor-poniente.

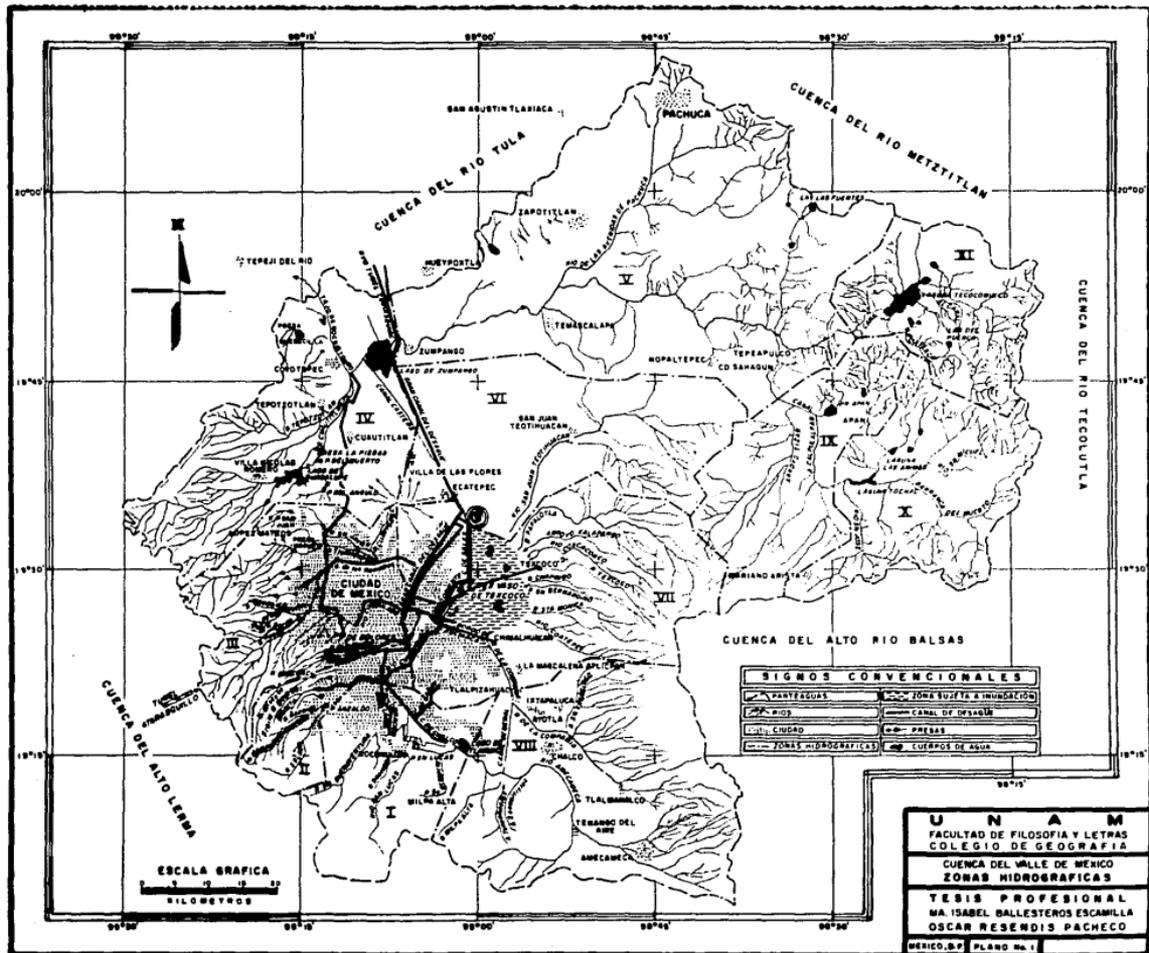
Esta cuenca cerrada comenzó a abrirse artificialmente por los formadores del Río Pánuco (Río Tula y el Salto) desde la épo-

ca colonial, en el último cuarto del siglo pasado y en la actualidad, con el tajo de Nochistongo, con los túneles de Tequixquiac y últimamente el túnel del drenaje profundo de la ciudad de México.

Su hidrografía está constituida por un gran número de ríos y arroyos que se originan en las vertientes de las sierras que circundan al Valle de México.

Desde el punto de vista hidrográfico, actualmente la Cuenca de México se divide en once zonas. Plano Núm. 1

A Continuación se describen las zonas hidrográficas y sus corrientes principales:



ZONAS HIDROGRAFICAS DE LA CUENCA DE MEXICO

ZONA	NOMBRE	AREA Km ²	CORRIENTES FORMADORAS
I	XOCHIMILCO	500	SANGREGORIO, SAN LUCAS, SANTIAGO, SAN BUENAVENTURA.
II	CHURUBUSCO	223	ESLAVA, MAGDALENA, ANZALDO O SAN JERONIMO, SAN ANGEL O TEXCALATLACO, GUADALUPE O TEQUILAZCO, TARANGO O BARRANCA DEL MUERTO Y MIXCOAC.
III	CIUDAD DE MEXICO	703	BECERRA, TACUBAYA, BARRILACO, TECAMACHALCO, SAN JOAQUIN, EL TORNILLO, HONDO, SORDO, LOS CUARTOS, TOTOLICA, CHICO DE LOS REMEDIOS, TLALNEPANTLA, SAN JAVIER Y CUAUTEPEC.
IV	CUATITLAN	1012	CUAUTITLAN Y TEPOTZOTLAN.
V	PACHUCA	2144	AVENIDA DE PACHUCA.
VI	TEOTIHUACAN	929	SAN JUAN TEOTIHUACAN.

Z O N A	N O M B R E	A R E A Km ²	CORRIENTES FORMADORAS
VII	TEXCOCO	1101	PAPALOTLA, XALAPANGO, COXCACOACO O MAGDALENA, TEXCOCO, CHAPINGO, SAN BERNARDINO, SANTA MONICA Y COATEPEC.
VIII	CHALCO	1147	SAN FRANCISCO, DE LA COMPAÑIA, AMECAMECA, ZACUATITLAC, TENOCHCOLUX Y MILPA ALTA.
IX	APAN	634	CALPULALPAN, TIZAR Y CANALES DE EXCEDENCIA.
X	TOCHAC	684	SAN JOSE, BARRANCA DEL MUERTO, SAN MIGUEL Y CORRIENTES DIVERSAS AL NOROESTE DE LA LAGUNA DE TOCHAC.
XI	TECOCOLUMCO	526	COATLACO, RIO ALIMENTACION DE LA LAGUNA DEL PUERCO, EL CANAL, CORRIENTES ALIMENTADORAS AL NORTE DEL LAGO DE TEXCOCO.
T O T A L		9600	

FUENTE: SARH. Lluvias medias anuales por cuencas, regiones hidrológicas y Estados de la República Mexicana.

Hidrografia de la Zona I

Arroyo San Gregorio. Nace en las laderas del cerro Cuautzin, está limitado al oriente por la subcuenca Rfo Milpa Alta y al poniente por la subcuenca Rfo San Lucas pasa cerca del poblado de San Salvador Cuautenco, corriendo en dirección oriente hasta cerca del poblado de Actopan, de aquí sigue con dirección norte hasta San Gregorio Atlapulco, para después alimentar al Lago de Xochimilco, sus escurrimientos superficiales son en época de lluvia.

Rfo San Lucas. Se origina en las laderas del cerro Chichinautzin está limitado al oriente por subcuenca Arroyo San Gregorio y al poniente por la subcuenca Arroyo Santiago y el Rfo San Buenaventura. Se inicia con dirección norte hasta el poblado de Topilejo, donde sigue su curso hasta desaguar al Lago de Xochimilco, esta corriente cuenta con manantiales de Tulmeac, Molcajete, Texcayuca y Cuauhnejuaque, La Noria y Santa Cruz, los cuales son captados por el acueducto de Xochimilco para abastecer en parte al Distrito Federal.

Arroyo Santiago. Nace en las laderas del cerro Huapaltépetl, está limitado al oriente por la subcuenca Rfo San Lucas y al poniente por la subcuenca Rfo San Buenaventura. Se inicia

con dirección noreste hasta el poblado de Santiago Tepalca--
tlaipan, donde continua para desaguar al Lago de Xochimilco.
Los escurrimientos de este río son escasos.

Hidrografía de la Zona II

Río Eslava. Se origina al oriente del Ajusco y serranía de las Cruces. Limita al poniente por la subcuenca Río Magdalena y al poniente por la subcuenca Río San Buenaventura, se inicia con dirección noreste hasta cerca del poblado de Contreras, donde una parte de sus aguas son derivadas hacia el Pedregal de San Angel para su infiltración, por medio del Canal Dispensor de la Desviación Alta.

Río Magdalena. Nace cerca del cerro de la Palma. Limita al sureste por la subcuenca del Río Eslava y al noreste por los Ríos Mixcoac, de Guadalupe y San Angel, su cauce sigue una dirección noreste recibiendo algunos afluentes importantes como son el Río San Angel y el Río de Guadalupe o Tequilazco por la margen izquierda. Este río se une al Mixcoac a la altura de Xoco, en Coyoacán para formar el Río Churubusco, el cual va a desaguar a los Lagos de Texcoco y Xochimilco.

Río Anzaldo o San Jerónimo. Nace en las laderas del cerro

Pahueyxiotl. Limita al sureste por la subcuenca Rfo Magdale-
na y al norte por los Rfos Mixcoac, Tecalatlaco y la Barranca
la Providencia. Parte siguiendo la direcci3n noreste hasta
el pueblo de San Jer3nimo, donde se une al Rfo Magdalena.

Rfo San Angel o Texcalatlaco. Se origina en las laderas del
cerro Campamento. Limita al sueste por la subcuenca Rfo An-
zaldo y al norte y poniente por la subcuenca Rfos Guadalupe y
Tetelpa. Se inicia siguiendo la direcci3n noreste hasta unir
se al Rfo Magdalena a la altura de Villa Obreg3n.

Rfo de Guadalupe o Tequilazco. Se origina en las laderas del
cerro Pahueyxiotl. Limita al noreste por la subcuenca Rfo
Mixcoac y al oriente por la subcuenca Rfo San Angel o Texcala
tlaco. En su nacimiento recibe el nombr de Barranca Olivar
de los Frailes, escurriendo despu3s con el nombre de Guadalu-
pe o Tequilazco a la altura de los Viveros de Coyoac3n. Cuen-
ta con algunos manantiales como los de San Bartolo Ameyalco,
los cuales son captados por el acueducto del mismo nombre
que abastece en parte al Distrito Federal.

Rfo Tarango. Nace cerca del V3rtice de Triangulaci3n Tarango.
Limita al poniente por la subcuenca del Rfo Mixcoac y al orien-
te por la subcuenca del Rfo de Guadalupe o Tequilazco. Corre
con direcci3n noreste hasta unirse al Rfo Mixcoac con su tramo

final ya entubado. Su longitud hasta el sito de la Presa Tarango es de 5 Km.

Río Mixcoac. Nace en las laderas del cerro San Miguel. Limita al poniente por la subcuenca Río Borracho, afluente del Río Hondo, así como por el Río Becerra y al oriente, por las Subcuencas de los Ríos Guadalupe y Tarango. En su origen está limitado por varios manantiales, corriendo en dirección norte hasta cerca del convento del Desierto de los Leones, donde cambia de dirección noreste. Recibe ya entubado, por margen derecha a su afluente principal, Río Tarango y más adelante en Xoco se une al Río Magdalena para formar al Río Churubusco. En la corriente de este río se encuentra construida la Presa Mixcoac, que constituye el sistema de la Desviación Combinada, se encuentra situado a unos 5 Km. arriba del cruce del río con la Avenida Revolución.

Hidrografía de la Zona III

Río Becerra. Nace en las laderas del cerro Cuajimalpa, está limitado al norte por la subcuenca del Río Tacubaya y al sur por la subcuenca del Río Mixcoac. Se inicia con dirección noreste cerca del poblado de Cuajimalpa, siguiendo con la misma dirección hasta su confluencia con el Río Tacubaya para

formar el Rfo La Piedad, el cual desagua en el lago de Texcoco después de atravesar entubado por la zona urbana. En su curso se ha constituido la Presa Becerra, que descarga sus aguas y las que recibe del Rfo Mixcoac por un túnel hacia la Presa Tacubaya, formando ambas la Desviación combinada. El principal afluente del Rfo Becerra es el arroyo Las Palmas que recibe por su margen derecha, por éste le llegan las descargas del Rfo Mixcoac a través del túnel Mixcoac-Becerra.

Rfo Tacubaya. Nace en las laderas del cerro Cuajimalpa. Limita al norte por las subcuencas de los Rfos Tecamachalco y San Joaquín; al sur por las subcuencas de los Rfos Mixcoac y Becerra; al poniente por el Rfo Borracho. Se inicia con dirección noreste cerca del poblado de Cuajimalpa y continua con la misma dirección hasta su confluencia con el Rfo Becerra para formar el Rfo La Piedad, que desagua en el lago de Texcoco, atravesando entubado por la zona urbana. En su curso se ha construido la Presa Tacubaya que forma parte de la Desviación Combinada y recibe aguas del Rfo Becerra por el túnel Becerra Tacubaya. La Presa Tacubaya, a su vez, envía aguas a la Presa Tecamachalco por el túnel Tacubaya-Tecamachalco.

Rfos Dolores y Barrilaco. Son arroyos de subcuencas muy pequeñas, sus cauces siguen la dirección noreste para unirse al

Río Tecamachalco. Nace en las laderas del cerro Cuajimalpa, limita al norte por la subcuenca Río San Joaquín y al sur por la subcuenca Río Tacubaya. Se inicia con dirección noreste cerca del poblado de Cuajimalpa y continúa con la misma hasta unirse con el Río San Joaquín para formar el Río Consulado. En su curso se ha construido la Presa Tecamachalco que forma parte de la Desviación Combinada, recibe aguas del Río Tacubaya por el túnel-Tecamachalco, enviándolo a la presa San Joaquín por el túnel Tecamachalco-San Joaquín.

Río San Joaquín. Nace en las laderas del cerro Cuajimalpa. Limita al norte y poniente por las subcuencas de los Ríos Hondo y El Tornillo, al sur por las subcuencas Ríos Tacubaya y Tecamachalco. Se inicia con dirección noreste cerca del poblado de Cuajimalpa donde, cambia al sureste hasta unirse con el Río Tecamachalco para formar el Río Consulado, pasando por el Distrito Federal, hasta desaguar en el Lago de Texcoco. En su curso se ha construido las Presas El Capulín y san Joaquín.

Río El Tornillo. Nace en las Lomas de Sotelo, cerca del Club Chapultepec. Limita al norte con la subcuenca Río Hondo y al sur por la Subcuenca Río San Joaquín. Su curso tiene dirección noreste, uniéndose al Río San Joaquín después de pasar

por la Presa el Tornillo. Forma parte de la Desviación Combinada, recibe aguas de la Presa San Joaquín por el túnel San Joaquín-Tornillo.

Río Hondo. Nace en la Sierra de las Cruces. Limita al norte con la subcuenca del Río de los Cuartos; al sur por las subcuencas de los Ríos Mixcoac, San Joaquín y Barranca El Tornillo y al poniente por el parteaguas de la Cuenca de México. Inicia con diversos formadores que siguen una dirección noreste, arriba del poblado de Huixquilucán, cerca de la marquesa, siguiendo con esta misma dirección hasta su confluencia con el canal Tornillo donde sigue por el cauce artificial denominado Río de los Remedios, continuando con el nombre de Desviación Combinada hasta llegar y desaguar en el Lago de Texcoco. Cuenta con gran número de manantiales, entre los que se encuentra los de Leones y Ajolote. Sus principales afluentes son el Río Huixquilucan y el Río Borracho por su margen derecha y los Ríos Sordo. Los Cuartos y Totolica por la margen izquierda.

Río Chico de los Remedios. Nace en las laderas de los cerros El Pedregal, la Ascención y las Piedras, limita al norte y al poniente con la subcuenca Río Tlalnepantla y al sur con la subcuenca Río Totolica. Se inicia con dirección oriente y

más adelante cambia hacia el noroeste cerca del poblado de Los Remedios, para unirse con el Río San Mateo; de allí continua hasta su confluencia con el Río Hondo a través del Vaso El Cristo. Sus principales manantiales son el Agua Blanca y el Carrizal. En su curso se ha construido las siguientes presas: Las Julianas, Tonantongo, El Colorado y la Colorada.

Río Tlalnepantla. Nace en la sierra de Monte Alto. Limita al norte por las subcuencas Ríos Cuautitlán y San Javier; al sur por las subcuencas Ríos Totolica y Chico de los Remedios y al poniente por el parteaguas de la Cuenca de México. Se inicia con dirección de sur a norte y más adelante cambia hacia el noreste, cerca del poblado de San Luis Ayucan, para después unirse con el cauce de la Desviación Combinada en el sitio denominado Amealco, más tarde en el gran canal y descargar sus aguas al Lago de Texcoco. Sus principales afluentes por la margen derecha son los arroyos: Alameda, Cordoba, Chiluca, Tepetlaxco, Madin, De Castro y por la margen izquierda se incorporan los arroyos Pie de Gallo y Sifón. Sus principales manantiales son: La Luna, Tepetlaxco, Agua Buena, San Luis Ayucan, Alameda, Endeca y Chiluca.

Río San Javier, Nace en las laderas del cerro Chiluca. Limita al norte y al poniente por la subcuenca Río Cuautitlán

y al sur por la subcuenca Río Tlalnepantla. Se inicia con di-rección noreste y más adelante cambia hacia el sureste, yendo a unirse al cauce de las Desviaciones Combinada en Amealco. Su principal manantial es el Pedregal. Su principal afluente es el Río Cuauhtepac que se une por la margen izquierda, cerca de Amealco. En su curso se han construido las presas San Juan y la Ruinas.

Hidrografía de la Zona IV

Río Cuautitlán. Nace en las sierras de Monte Alto y monte Ba-jo. Limita al sureste por la subcuencas Ríos Talnepantla y San Javier, al poniente por las sierras de Monte Alto y Monte Bajo y al norte por la subcuenca Río Tepotzotlán. Está forma-do por varias corrientes como son: el Río Monte Alto, el Arro-yo de la Colmena, el Arroyo Bata y el Río el Chiquito; todos corren paralelo en dirección noreste hasta unirse a la altura de la Presa Guadalupe y de allí continúa con la misma direc-ción hasta recibir, a la altura de Tepotzotlán, a su afluente principal el Río Tepotzotlán. Antiguamente este río desagua-ba en los Lagos de Zumpango y Xaltocan, pero en la actualidad vierte fuera de la cuenca, pasando por el Tajo de Nochistengo

Hidrografía de la Zona V

Río de las Avenidas de Pachuca. Nace en las faldas de los cerros Ventanas y Laureles, al norte de la ciudad de Pachuca. Limita al noreste por la sierra de Tezontlalpan, al norte por la sierra de Pachuca, al oriente por las colinas que forman el parteaguas que separa sus subcuencas de Apan y Tecoco mulco y al sur por la subcuenca Río San Juan Teotihuacán. En su origen recibe el nombre de Arroyo Cerezo corre en dirección sur pasando por la ciudad de Pachuca, después recibe por margen izquierda al Arroyo La Palma, a la altura del poblado Palma Gorda; continúa en esta misma dirección hasta cerca del poblado de Téllez, donde se le une por margen izquierda el Arroyo Azoyotla y después cambia de rumbo, tomando la dirección suroeste. Aguas arriba de la presa El Manantial, recibe en su margen izquierda su afluente principal, el Río Papalote, siguiendo en esta misma dirección, continúa hasta desaguar en el Lago de Zumpango.

Hidrografía de la Zona VI

Río San Juan Teotihuacán. Nace en las laderas de los cerros Grande, Cuello y Jaguey. Limita al norte por la subcuenca Río de las Avenidas de Pachuca, al sur por la subcuenca Río Papalotla y al oriente por la subcuenca cerrada de Apan. Corre en dirección poniente hasta cerca del poblado de San

Martín de las Pirámides, cambiando de dirección suroeste, yendo a desaguar al Lago de Texcoco.

Hidrografía de la Zona VII

Río Papalotla. Nace en las laderas de los cerros Tláloc. Limita al norte por la subcuenca Río San Juan Teotihuacán, al sur por la subcuenca Río Xalapango y al oriente por las subcuenca Ríos Tizar y Calpulalpan. Se inicia siguiendo la dirección norte hasta cerca de la población de Totolapan, donde cambia hacia el poniente, recibiendo varios arroyos como el Tecuatitla, Tepetlaoxtoc, Piedras Negras y las Mesas. A la altura de la estación La Grande cambia de dirección al suroeste hasta desaguar en el Lago de Texcoco.

Río Xalapango. Nace en las laderas del cerro Tláloc con el nombre de Arroyo Comunidad. Limita al norte y oriente con la subcuenca Río Coxcacacoaco. Se inicia siguiendo la dirección noroeste hasta el poblado de San Juan Tezontla, donde cambia hacia el poniente, recibe por margen izquierda al Arroyo Purificación y continuando para desaguar en el Lago de Texcoco.

Río Coxcacacoaco o Magdalena. Nace en las laderas del cerro Tláloc. Limita al norte por la subcuenca Río Xalapango; al

sur por la subcuena Rfo Texcoco y al oriente por parte de la subcuena Rfo Papalotla, se inicia siguiendo una direccin no roeste hasta cerca de la poblacin de Santo Tom s donde cam-
bia hacia el poniente hasta desaguar en el Lago de Texcoco.

Rfo Texcoco. Nace en las laderas del cerro Tl lloc. Limita al norte con la subcuena Rfo Coxacoaco y al sur por la subcuena Rfo Chapingo. Se inicia corriendo en direccin noroeste hasta unos 3 kilmetros antes del pueblo de Texcoco donde sigue hacia el poniente para desaguar en el lago del mismo nombre.

Rfo Chapingo. Nace en las laderas del Rfo Tl lloc. Limita al norte por la subcuena Rfo Texcoco y al sur por las subcuencas Rfos San Bernardino y Santa M nica. Se inicia con direccin noroeste hasta llegar a Chapingo, donde cambia al poniente hasta descargar en el Lago de Texcoco.

Rfo San Bernardino. Nace en las laderas del cerro Tecorral Limita al norte por la subcuena Rfo Chapingo y al sur por la subcuena Rfo Santa M nica. Se inicia siguiendo la direccin noroeste hasta cerca del poblado de huexotla, recibiendo por su margen derecha el Arroyo Olipatitl n a partir de Huexotla cambia su direccin hacia el poniente donde se une al Rfo Cha

pingo.

Río Santa Mónica. Nace en las faldas de los cerros Tláloc y Telapón. Limita al norte por la subcuenca Río San Bernardino y al sur por la subcuenca Río Coatepec. Se inicia con el nombre de Arroyo Potreritos, siguiendo la dirección noroeste hasta el poblado de Coatlinchá en donde cambia hacia el oeste, hasta desaguar en el Lago de Texcoco. Sus principales afluentes son el Río Cañada de Agua, Arroyo Tecojote y el Arroyo Caño Viejo.

Río Coatepec. Nace en los cerros Culotepec y Cuachichiquil. Limita al norte por la subcuenca Río Santa Mónica y al sur por la subcuenca Río San Francisco. Se inicia siguiendo la dirección poniente hasta la población de Coatepec donde cambia hacia el noroeste. Hasta desaguar en el Lago de Texcoco. Sus afluentes principales son los Arroyos de Metepanco y Puente Quebrado.

Hidrografía de la Zona VIII

Río de la Compañía. Nace en las laderas del volcán Iztac-huatl y el cerro Tres Cruces. Limita al norte por la subcuenca Río Coatepec; al sur por la subcuenca Río Ameca y al oriente

te por el parteaguas de la Sierra Nevada. Se inicia con el nombre de Cañada del Negro, corriendo en dirección poniente hasta cerca de Tlalmanalco, tomando el nombre de Miraflores, donde cambia de rumbo al noroeste, hasta descargar sus aguas en el Lago de Texcoco. Su afluente principal es el Río San Francisco.

Río Amecameca. Nace en las laderas de los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl. Limita al norte por la subcuenca Río de la Compañía, al sur por el parteaguas de la Sierra Nevada y al poniente por las subcuencas de pequeños arroyos que desaguan en la Laguna de Mixquic. Se inicia con dirección noroeste, a la altura de Ayapango recibe por su margen derecha su afluente principal, el Arroyo Panohaya. conservando la misma dirección, recibe en su margen izquierda, cerca de Tenango del Aire, el Arroyo San Luis, desde allí toma la dirección norte, al llegar a la planicie, está entubado llevando sus aguas a las lagunas de Tláhuac y Xochimilco continuando por los canales de Chalco y Nacional hasta el Río Churubusco.

Arroyo Zacuatitlac. Nace en las laderas del cerro Calabaza. Limita al oriente por el cerro Dos Cerros y al poniente con la subcuenca Arroyo Tenehcólux. Se inicia con dirección norte hasta desaguar en la Laguna de Mixquic.

Arroyo Tenechcólux. Nace en las faldas del cerro Tláloc. Limita al oriente por la subcuenca Arroyo Zacuatitlac y al poniente por la subcuenca Río Milpa Alta. Se inicia con dirección norte hasta desaguar en la Laguna de Mixquic.

Río Milpa Alta. Nace en las laderas del cerro Tláloc, Limita al oriente por la subcuenca Arroyo Tenechcólux y al poniente por la subcuenca Río San Gregorio. Corre en dirección noreste, uniéndose por margen derecha una serie de pequeños arroyos de los que destaca el Zacatlaco, desembocando finalmente en la Laguna de Mixquic.

Hidrografía de la Zona IX

Río Calpulalpan. Nace en las laderas del cerro Caracol con el nombre de Arroyo Columbia y junto con el Río Tizar forman las dos principales corrientes de la subcuenca de Apan. Limita al poniente por la subcuenca Río Tizar y al oriente por el parteaguas de la subcuenca Laguna de Tochac, se inicia con dirección noreste, recibiendo por margen derecha, a la altura de Zotoluca, el Arroyo Vaquería desagua a la Laguna de Apan.

Río Tizar. Nace en las laderas de los cerros Cuello, Colorado y Grande, se inicia con dirección noreste, formando por dos

corrientes que avanzan paralelamente en esa dirección, uniéndose a la altura del poblado de Amatitla, hasta desembocar en un canal artificial que lleva sus aguas a la Laguna de Apan.

Canales de Excedencias. Canal de escedencias que sirve para verter las aguas sobrantes en la Laguna de Tochac hacia el Río Papalote, afluente de las avenidas de Pachuca. Además, por medio de un canal artificial, recibe los excedentes de la subcuenca de la Laguna de Tochac.

Hidrografia de la Zona X

Río San José. Nace en las laderas del cerro Caracol. Limita al este con la subcuenca Río Barranca del Muerto al oeste por la subcuenca Río Calpulalpan y al sur por el parteaguas general de la Cuenca de México. Se inicia con dirección norte, pasando por el poblado de Galera hasta desaguar en la Laguna de Tochac.

Río Barranca del Muerto. Nace en las laderas del cerro Peñón del Rosario. Limita al norte con la subcuenca Río San Miguel al oriente y sur por el parteaguas general de la Cuenca de México y al poniente por la subcuenca Río San José. Se inicia con dirección suroeste, cerca del poblado Bernal, cambia su

dirección hacia el noroeste hasta desaguar en la Laguna de Tochac.

Río San Miguel. Nace en las laderas de los cerros que forman el parteaguas entre la Zona X y XI. Se inicia con dirección suroeste continuando con la misma dirección hasta desaguar artificialmente en la Laguna de Tochac.

Corrientes diversas al noroeste de la Laguna de Tochac. Nacen en las laderas de los cerros que sirven de parteaguas entre las subcuencas de Tochac y Tecocomulco. Se inician con dirección sur hasta desembocar en diversas lagunas, al noreste de la Laguna de Tochac.

Canal de Excedencias. Canal artificial que se construyó con el objeto de evitar que la Laguna de Tochac adquiriera niveles altos y evitar inundaciones. Esta canal descarga al río Calpulalpan.

Hidrografía de la Zona XI

Río Coatleco. Nace en las laderas de las colinas que dividen las subcuencas de Tochac y Tecocomulco. Limita al este con la subcuenca del río alimentador de la Laguna del Puercu; al

sur con la subcuenca de la Laguna de Tochac; al oeste por las subcuencas de Tochac y Apan y al norte por las subcuencas de pequeñas corrientes que desaguan a la Laguna de Tecocomulco. Se inicia con dirección norte y más adelante cambia hacia el noroeste hasta su desembocadura en una pequeña laguna situada al sur de la Laguna de Tecocomulco.

Rfo alimentador de la Laguna del Puerto. Nace en las laderas de las colinas que dividen a las subcuencas de Tochac y Tecocomulco. Limita al norte y noroeste con la subcuenca Rfo el Canal; al este por el partaguas general de la Cuenca de México, al sur por la subcuenca de la Laguna de Tochac y al oeste por el Rfo Coatlaca. Se inicia con dirección oeste, cerca del poblado de San Gerardo cambia hacia el noroeste hasta su desembocadura en la Laguna del Puerto.

Rfo Canal . nace en las laderas del Cerro Tepozán, Se inicia con dirección noreste del poblado El Aserradero, continua con esta misma dirección hasta desembocar cerca de Tecocomulco.

Corrientes alimentadoras al norte de la Laguna de Tecocomulco. nace en las laderas del Cerro de Zempoala. Limita al norte con la subcuenca Rfo Papalote y al este por la subcuenca Rfo El Canal. Se inicia con dirección sur siguiendo con esta misma hasta desembocar en la Laguna de Tecocomulco.

CAPITULO 2. ASPECTOS FISICOS DE LA SUBCUENCA "RIO SAN BUENA VENTURA" D.F.

2.1 Localización.

Geográficamente la subcuena 'Río San Buenaventura', se localiza en la porción sur del Distrito Federal, entre los paralelos $19^{\circ} 16' 30''$ y $19^{\circ} 09' 50''$ de latitud norte y entre los meridianos $99^{\circ} 15' 30''$ y $99^{\circ} 08' 10''$ de longitud oeste de Greenwich. Su altitud varía entre los 2 275 msnm en el sitio de estudio hasta los 3 935 msnm en la zona del Ajusco. La elevación media es de 3 105 msnm, Plano Núm. 2

Límite al norte con el Canal Nacional, al sur con la parteaguas general de la Cuenca de México, al oriente con la subcuena de los ríos San Lucas y Santiago, al poniente por la subcuena del río Eslava.

Políticamente, se ubica en la Delegación de Tlalpan, D.F. quedando comprendida en ella las poblaciones de San Pedro Martir, San Andrés Toltepec, San Miguel Xicalco, Magdalena Petlacalco y San Miguel Ajusco. Croquis Núm. 1

La zona cuenta con carreteras de primer orden y una red de caminos que comunican a los poblados localizados dentro y fuera

de la subcuenca, entre las principales se encuentra la carretera México-Cuernavaca y el Circuito Ajusco-Xalatlaco.

2.2 Fisiografía.

La subcuenca "Río San Buenaventura" pertenece a la Provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico Transversal, en particular dentro de la Sierra del Ajusco, la cual se caracteriza por una topografía heterogénea. Las unidades orogénicas más generalizadas son los conos volcánicos, las llanuras de lavas y las planicies lacustres.

2.3 Geología.

Las formaciones geológicas que componen la zona de estudio corresponden al Cenozoico medio. Como la región es eminentemente de origen volcánico, se encuentran diseminados por toda la subcuenca basaltos, tobas y arenas, yaciendo en capas de diversos espesores, guardando una estratigrafía general que indica la forma en que se llevaron a cabo las manifestaciones volcánicas que dieron lugar a las Sierras del Ajusco y Chichinautzin.

En la parte superficial del terreno se ve constituida por las arenas que es el material más reciente aportado por las erup-

ciones cineríticas del volcán Olicán. Por debajo de estas se encuentran las tobas y brechas intemperizadas por la acción química del agua. En tanto que el piso más profundo está formado por basalto el cual ha sido erosionado por las corrientes superficiales que lo han puesto al descubierto.

2.4 Clima.

Con el fin de elaborar el análisis climático de la subcuenca, se procedió a la recopilación y procesamiento de los datos de la estación climatológica Ajusco, D.F., la cual se encuentra ubicada dentro de la zona de estudio y cuyo período de observación es de 27 años (1961-1987). Dicho análisis reporta lo siguiente. Gráfica Núm. 2

Temperatura: La temperatura media anual es del orden de los 11.0°C . Los meses más calurosos corresponden a abril, mayo y junio, con temperaturas medias a 12.0°C , mientras que los meses más fríos corresponden a diciembre y enero, con temperaturas medias de 9.0°C .

Precipitación: La precipitación media anual es de 1133°mm . La temporada húmeda principia en el mes de junio y

finaliza en septiembre; en este período se precipita 952°mm que representa el 84 % de la lluvia total anual. El mes más lluvioso es agosto con 226.4 mm y el más seco diciembre con 9.2 mm.

El promedio de lluvia máxima en 24 horas, registrada en la estación Climatologica Ajusco, D.F. es del orden de 36.5 mm.

En general, el caracter de la precipitación es en forma de chubasco producido por tormentas convectivas, que en ocasiones acompañadas por granizo.

De acuerdo con la clasificación climática de Koppen modificado por Enriqueta García (1964), el clima de la subcuenca "Río Buenaventura", se define como:

C(w₂) (w) (b')ig Cuyo significado es el siguiente:
 Clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5mm. de la anual.

Semifrfo, con verano fresco, con temperaturas entre 6.5 °C a 22°C , isotermal y

la marcha de la temperatura tipo ganges.

2.5 Hidrología.

El área de estudio se ubica al sur de la Región Hidrológica Núm. 26, Rfo Pánuco, en particular, en la Cuenca de México, que de acuerdo a la hidrografía se denomina, Zona I, Xochimilco.

La hidrología de la subcuenca esta formada por los ríos; San Buenaventura, el Arroyo Tecoentitla y un gran número de tributarios. Plano Núm. 2

El Rfo San Buenaventura, tiene su origen en el cerro Mezontepec a una elevación de 3 485 msnm. Su curso se inicia con dirección sureste-sur, a un kilómetro adelante cambia su recorrido al este-noreste y a 6.6 Km. aguas abajo recibe en su margen izquierda al Arroyo Tecoentitla, para seguir su escurrimiento hacia el este del poblado de San Miguel Ajusco. A partir de éste punto se dirige hacia la parte oeste del poblado de San Andrés Totoltepec, al salir de esta zona toma la dirección noreste hasta la estación Hidrométrica la Agraria, en donde cambia a la dirección noroeste atravesando el Club de Golf México, para verter sus aguas al Canal Nacional.

Considerando que en dicha zona predomina un relieve accidentado y con una pendiente brusca lo que ocasiona que el escurrimiento natural sea rápido y en época de lluvia impetuoso, generando una forma de drenaje dendrítica alargada.

En algunos tramos de la corriente principal, se localizan construcciones hidráulicas, como son, represas de gaviones, mampostería y de piedras acomodadas. Las cuales se encuentran azolvadas. Al escurrir en la zona urbana, el río recibe por ambas márgenes descargas de aguas residuales, originadas por asentamientos humanos que contaminan sus aguas.

2.6 Suelos.

En general, los suelos de la zona se formaron a partir de la intemperización de las rocas basálticas que constituyen los macizos montañosos que circundan el área, así como las emisiones de cenizas volcánicas. Estos materiales, por la acción del viento y agua fueron acarreados de las partes altas para ser depositados en las zonas bajas y constituir lo que es hoy el suelo de la subcuenca "Río San Buenaventura".

En la parte media y baja, se observan suelos profundos (mayores de 200 cm.), de textura arenosa y de color café negro y

grisáceo. En la parte alta se encuentran los suelos menos profundo (120 a 150 cm.) de textura fina y media, de color café claro y oscuro.

Edafológicamente, se identifican tres unidades de suelo mismos que se describen a continuación. Croquis Núm. 2

Andosol, textura media y gruesa. Los suelos de esta especie se localizan en la porción centro de la subcuenca; ocupando el 50% de la superficie total.

Feozen, textura gruesa y media. Este suelo se ubica en la porción noreste cubriendo el 28% de la superficie total.

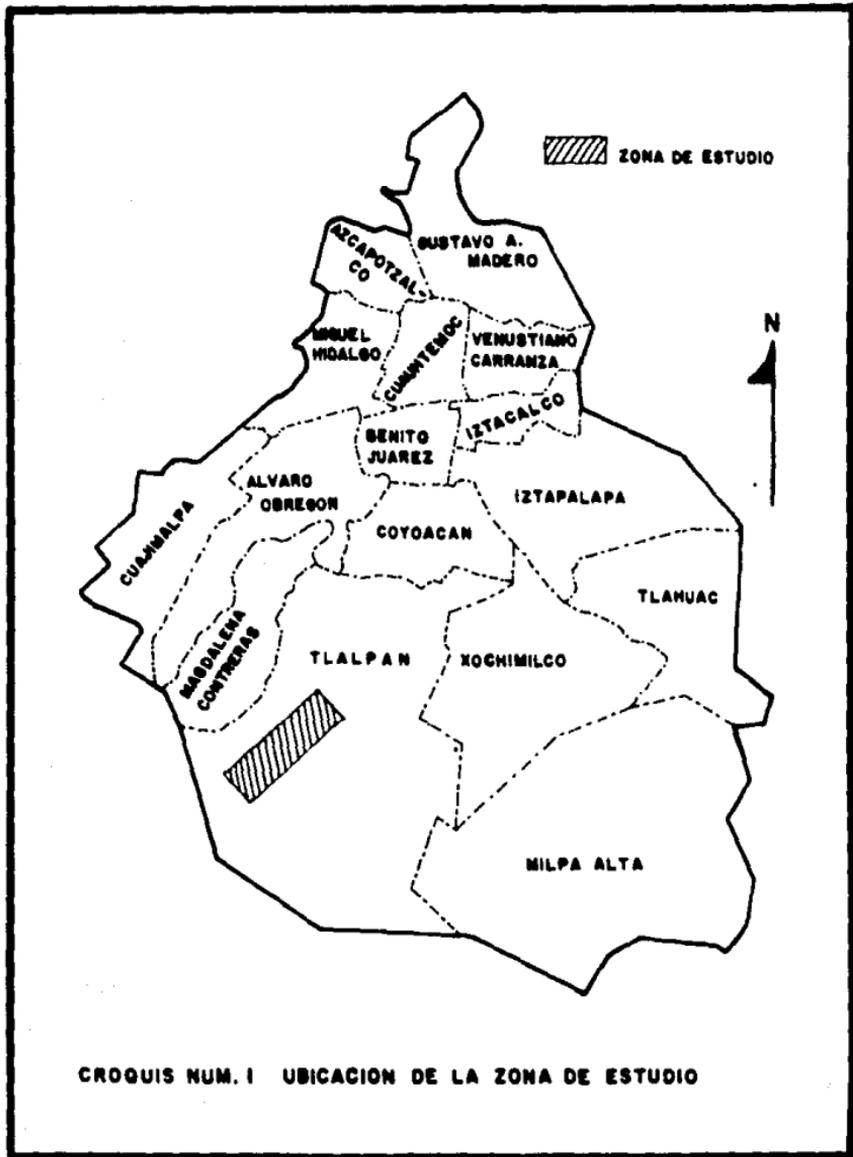
Litosol, textura media. Dicho suelo se ubica en la parte sureste y suroeste ocupando el 22% de la superficie.

Por los que se refiere al uso actual del suelo este se encuentra distribuido de la siguiente manera. Croquis Núm. 3

Forestal.	11.1 %
Agrícola.	73.8 %
Pastizal	9.3 %
Urbano.	4.9 %

En tanto que la tenencia de la tierra se distribuye de la siguiente forma.

Comunal.	51.0 %
Ejidal.	46.0 %
Privada.	1.0 %
Propiedad	
Nacional.	2.0 %

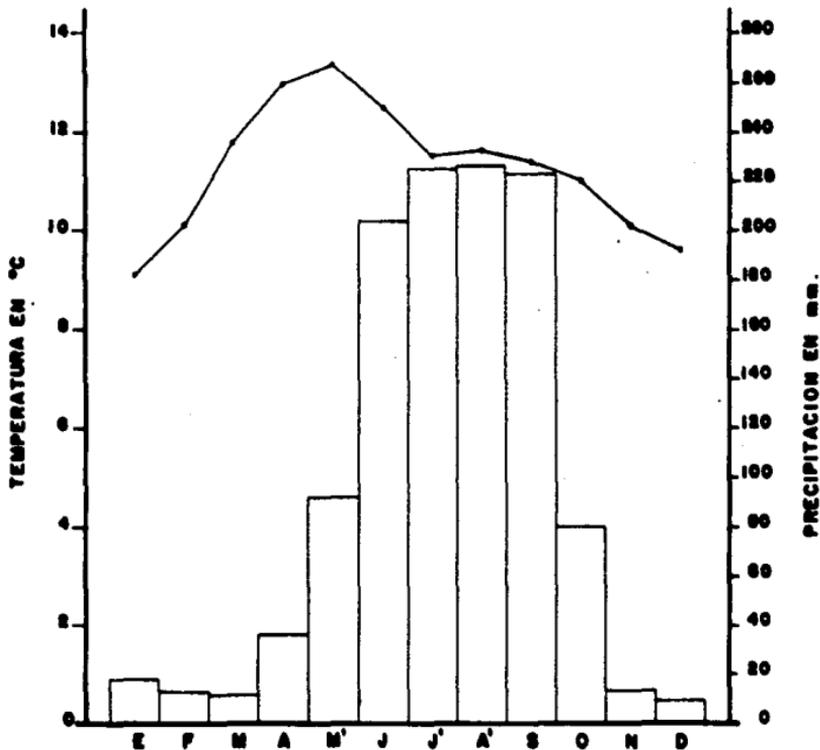


CROQUIS NUM. I UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

ESTACION: AJUSCO, D.F.
 COORDENADAS: LAT. 19° 13' 36"
 LON. 99° 10' 42"

PRECIPITACION
 TEMPERATURA

ALTITUD: 2780 m.s.n.m.

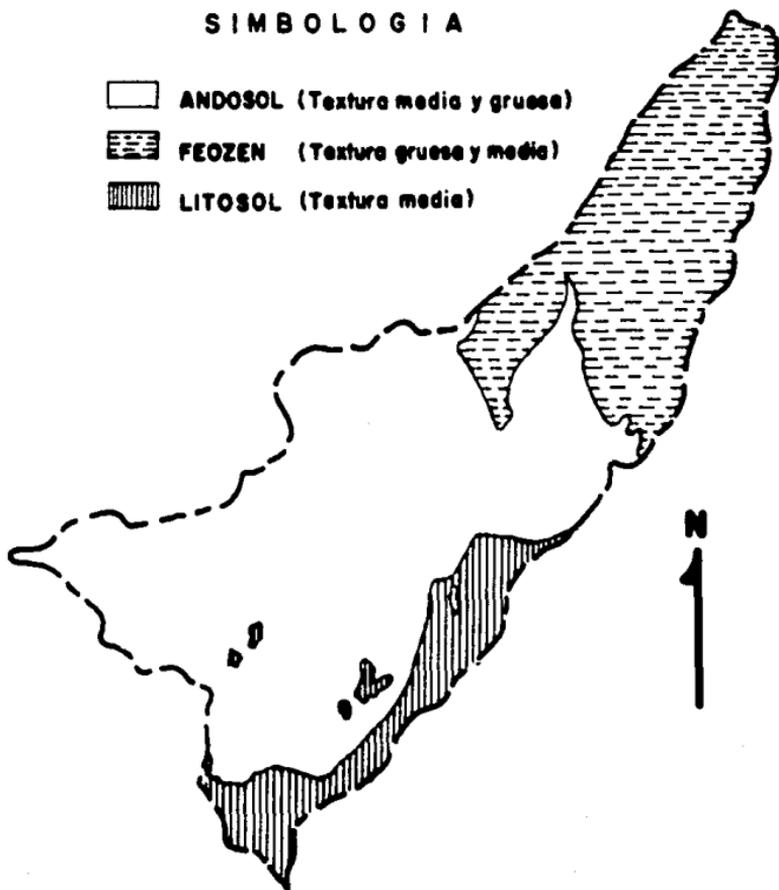


TIPO DE CLIMA : C(w₂M)(S)lg: **TEMPLADO SUBHUMEDO, EL MAS HUMEDO DE LOS SUBHUMEDOS, CON LLUVIAS EN VERANO, CON UN PORCENTAJE DE LLUVIA INVERNAL MENOR DE 5 DE LA ANUAL. SEMPREIO CON VERANO FRESCO, CON TEMPERATURAS ENTRE 9° Y 22°C, ISOTERMAL, MARCHA DE LA TEMPERATURA TIPO GANGES.**

GRAFICA NUM. 2 CLIMOGRAMA ESTACION AJUSCO, D.F.

SIMBOLOGIA

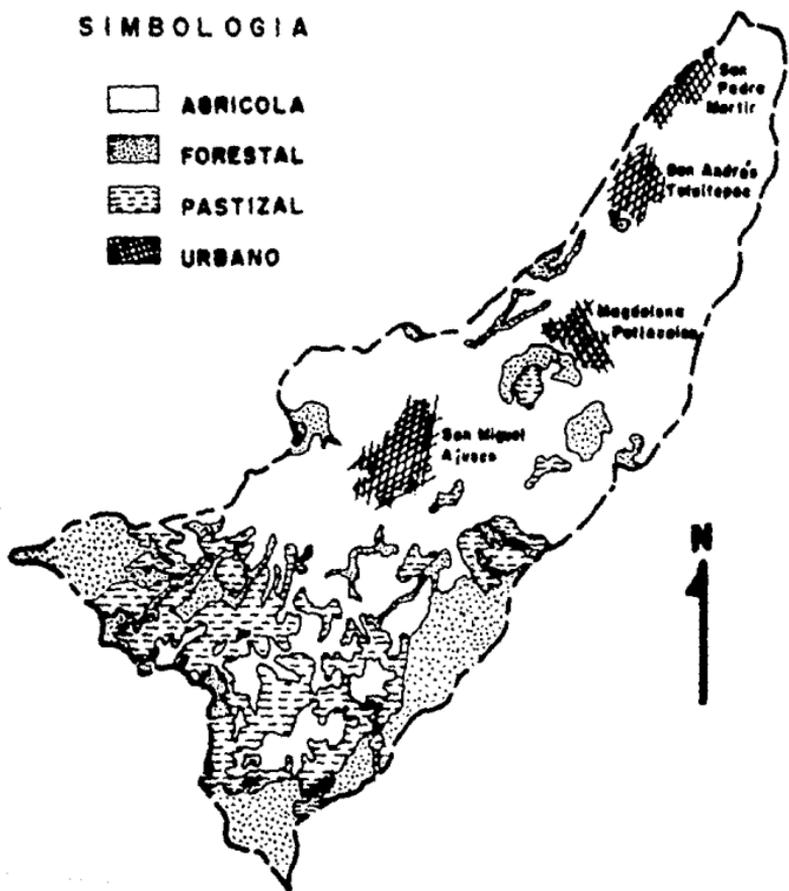
-  ANDOSOL (Textura media y gruesa)
-  FEOZEN (Textura gruesa y media)
-  LITOSOL (Textura media)



CROQUIS NUM. 2 EDAFOLOGIA DE LA SUBCUENCA "RIO SAN BUENAVENTURA", D.F.

SIMBOLOGIA

-  AGRICOLA
-  FORESTAL
-  PASTIZAL
-  URBANO



CROQUIS NUM. 3 USO DEL SUELO EN LA SUBCUENCA "RIO SAN BUENAVENTURA", D.F.

CAPITULO 3. ANALISIS DE LAS VARIABLES HIDROCLIMATOLOGICOS

3.1 Climatológicos.

La precipitación es una componente fundamental del ciclo Hidrológico y se define como el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico proveniente de la atmósfera, la cual esta en función de tres parámetros:

- Intensidad.
- Duración.
- Frecuencia.

La intensidad es la cantidad de agua que cae durante la lluvia, se mide por medio de pluviómetro o pluviógrafo, y se expresa en pulgadas o milímetros por hora. Si se divide la altura de la precipitación por la duración de la lluvia, se obtiene la intensidad de la precipitación.

La duración es el periodo de tiempo durante el cual llueve y se expresa en minutos, horas o días.

La frecuencia de lluvia se refiere al periodo de retorno de una determinada precipitación, caracterizada por una duración intensidad dada o ambas. Se expresa en años.

La relación entre intensidad-duración-frecuencia representan el comportamiento regional de la precipitación en una cuenca hidrológica.

Para deducir la altura media de la lluvia que cae sobre una cuenca se utilizan los siguientes métodos: (7)

- Promedio aritmético.
- Polígonos de Thiessen.
- Isoyetas.

Promedio aritmético.- Consiste simplemente en obtener el promedio de las alturas de la precipitación registrada en cada estación climatológica localizada dentro de la zona. Este método da buenos resultados en cuencas pequeñas y planas.

Polígono de Thiessen.-Consiste en asignar a cada estación climatológica una zona de influencia, para determinarla, primero, se trazan triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí. A continuación se trazan líneas bisectoras perpendiculares a

los lados de los triángulos con el propósito de formar polígonos, los cuales comprenden las áreas tributarias de las estaciones. Por lo que la lluvia media se obtiene con la siguiente expresión.

$$h_{Pm} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{Pi} (A_i)}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{Pi} \frac{A_i}{A}}{1}$$

Donde:

h_{Pm} = altura de la precipitación en mm.

A = área de la cuenca en Km^2 .

A_i = área tributaria de la estación en Km^2 .

h_{Pi} = altura de la precipitación registrada en la estación en mm.

Método de Isoyetas. - Es el más exacto, y consiste en localizar en un plano las estaciones pluviométricas y las cantidades de lluvia registrada, a continuación se trazan isolíneas de precipitación. La precipitación promedio sobre un área se evalúa ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas por el área entre isoye

tas, la expresión que define este concepto es la siguiente:

$$P = \sum \left(\frac{A_i}{A} \right) P_i$$

Donde:

P = precipitación promedio en la cuenca en mm.

A_i = área entre cada isoyeta en Km² o cm².

A = área total de la cuenca en Km².

P_i = precipitación media entre isoyetas, por lo general se toma el valor medio entre ellas, en mm.

Resultado del cálculo:

En el plano Núm. 2, se ubican 8 estaciones climatológicas que operan dentro y fuera de la subcuenca, siendo las principales:

ESTACION CLIMATOLOGICA	PERIODO DE OBSERVACION	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
		LONGITUD	LATITUD
Desviación Alta	1950-1987	99° 14' 00'	19° 18' 00"
Moyoguarda	1951-1987	99° 06' 12'	19° 16' 56"
El Guarda	1959-1987	99° 10' 23'	19° 08' 04"
Ajusco	1961-1987	99° 10' 42'	19° 13' 38"
San Fco. Tlanepantla	1961-1987	99° 07' 20'	19° 11' 48"
Tres Cumbres, Mor.	1961-1987	99° 14' 29'	19° 03' 12"
Sta. Ursula Coapa	1961-1987	99° 09' 00'	19° 18' 00"
Monte Alegre	1961-1987	99° 16' 43'	19° 13' 41"

Fuente: S.A.R.H. Comisión Nacional del Agua. Programa Hidráulico en el D.F.

LLUVIA ANUAL, PRESENTADA EN LA SUBCUENCA "RIO SAN BUENAVENTURA", D.F.

(EN mm)

49

AÑO	ESTACIONES				CLIMATOLÓGICAS			
	ESTACION ALTA	MOYO-GUARDA	EL GUARDA	AJUSCO	S.FCO TLAL-NEPANTLA	TRES COMBRES	S.URSULA COAPA	MONTE ALEGRE
1950	715.5							
51	710.2	689.8						
52	1 033.5	739.8						
53	766.0	524.6						
54	1 113.3	686.4						
1955	1 078.3	626.6						
56	948.0	643.1						
57	814.6	519.8						
58	1 436.2	791.8						
59	1 019.5	656.0	1 224.5					
1960	744.5	594.2	880.2					
61	1 026.5	563.3	1 073.6	589.8	1 036.2	2 209.6	477.2	790.7
62	941.2	698.3	1 298.4	736.5	854.6	1 839.7	558.9	896.0
63	994.0	754.9	1 116.6	562.5	1 110.5	2 316.3	466.5	772.5
64	948.0	579.6	1 021.0	971.5	819.6	1 725.2	654.8	1 094.8
1965	1 038.0	692.8	946.3	1 167.1	937.0	1 605.3	770.0	1 293.4
66	1 282.8	651.0	1 139.0	1 147.5	1 025.9	1 712.3	757.6	1 271.9
67	1 199.8	987.6	1 561.5	1 448.0	1 137.2	2 193.0	971.9	1 643.2
68	980.3	901.3	1 185.3	1 148.5	924.7	1 448.0	758.3	1 273.0
69	1 212.9	800.5	1 246.8	1 203.5	959.1	1 695.1	793.6	1 334.1
1970	898.2	646.2	1 358.6	1 207.5	813.3	1 223.0	796.5	1 338.7
71	1 093.4	683.2	1 291.6	1 192.5	977.9	1 118.6	749.1	1 321.7
72	825.9	655.4	1 133.0	1 305.3	860.6	1 621.7	791.6	1 455.0
73	1 170.8	645.9	1 271.0	1 207.2	948.3	3 195.2	734.2	1 338.3
74	1 037.6	672.6	1 069.2	1 302.6	832.7	1 964.6	773.3	1 451.7
1975	822.8	820.6	987.8	1 106.0	844.9	1 551.0	764.0	1 227.7
76	880.4	885.2	1 261.8	1 311.9	1 244.5	1 943.5	950.7	1 259.6
77	873.2	544.9	1 090.8	1 116.4	795.0	1 217.0	801.7	1 404.5
78	860.9	733.5	1 204.0	1 317.7	1 045.3	1 426.5	969.5	1 662.6
79	680.6	590.7	907.1	1 056.5	851.3	1 127.5	706.9	1 136.2
1980	840.5	456.9	1 376.5	1 282.9	934.5	1 600.0	812.6	1 358.2
81	1 188.1	723.5	1 390.2	1 397.4	1 003.9	1 843.5	1 072.8	1 688.4
82	659.4	512.0	901.0	756.7	753.1	1 276.5	564.9	934.9
83	961.6	702.8	946.5	1 113.1	691.4	1 847.0	701.3	1 098.7
84	1 235.8	980.9	1 017.0	1 338.5	967.7	1 455.8	915.8	1 453.1
85	1 077.4	816.1	1 185.0	1 283.0	892.8	1 250.5	753.5	1 482.6
86	1 220.4	757.3	1 137.5	1 185.5	946.8	1 125.0	722.2	1 286.7
1987	634.0	664.6	1 160.0	1 125.0	880.0	1 631.6	680.4	1 281.5
	36 082.1	25 592.7	33 372.6	30 580.6	25 178.5	45 153.4	20 469.8	34 549.7
PROM.	949.5	691.7	1 150.8	1 132.6	932.5	1 672.3	758.1	1 279.6

FUENTE: SARH. Comisión Nacional del Agua. Programa Hidráulico en el D.F.

Con la información climatológica disponible y aplicando el Método de Isoyetas se construyeron 31 planos, de los cuales 26 corresponden a lluvias anuales para el período 1966-1986, y los 5 restantes se refieren al volumen llovido con distintos períodos de frecuencia, a continuación se enlistan los resultados:

ANO	VOLUMEN LLOVIDO EN MILES DE M ³	ANO	VOLUMEN LLOVIDO EN MILES DE M ³
1961	30 899.5	1974	53 376.5
1962	34 425.0	1975	46 123.7
1963	31 019.5	1976	54 636.3
1964	40 775.0	1977	45 053.9
1965	48 781.5	1978	53 564.1
1966	48 018.5	1979	42 375.6
1967	60 915.0	1980	51 164.1
1968	47 866.2	1981	57 432.3
1969	50 100.9	1982	32 627.4
1970	48 663.8	1983	46 441.5
1971	47 964.1	1984	54 283.2
1972	52 708.2	1985	51 988.4
1973	53 744.4	1986	47 548.6

Vol. máximo: 60 915.0

Vol. mínimo: 30 899.5

Vol. promedio: 47 403.7

La probabilidad de lluvia máxima en 24 horas para distintos periodos de retornos se analizaron por el método probabilístico, el cual arrojó los siguientes resultados:

ESTACION CLIMATOLOGICA	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS				
	5	10	20	50	100
Ajusco	71.0	83.7	94.5	108.0	118.3
Monte Alegre	74.2	86.2	97.6	113.5	125.6
Desviación Alta	62.8	71.2	79.0	88.7	95.7
Sta. Ursula Coapa	62.3	72.5	82.3	95.4	105.3
Moyoguarda	54.5	64.4	73.9	86.4	95.9
San Fco. Tlanepantla	59.6	67.6	71.2	82.8	89.2
El guarda	73.9	88.0	101.3	119.1	132.4
Tres Cumbres	93.0	106.3	133.0	144.0	179.4

Con los datos anteriores se procedió al trazo de isoyetas para diferentes frecuencias, obteniendo los siguientes resultados.

Dedución de la lámina media en 24 horas por el método del planímetro, para diferentes periodos de retornos.

Para 5 años:

Z O N A	A R E A S		L L U V I A S	
	PLANIMETRO (Cm ²)	ESCALA (Km ²)	LAMINA (mm)	VOLUMEN LLOVIDO (10 ³ m ³)
1	10.6	2.7	63.4	171.18
2	21.7	5.4	65.0	351.00
3	22.3	5.6	67.0	375.20
4	20.3	5.1	69.0	351.90
5	23.7	5.9	71.0	418.90
6	21.8	5.5	73.0	401.50
7	31.5	7.9	75.0	592.50
8	13.5	3.4	76.7	260.80
9	2.9	0.7	78.5	54.95
SUMA	168.3	42.2	638.8	2 977.93

$$\text{Lámina media} = \frac{2\,977.91}{42.2} = 70.56$$

$$\text{Lámina media} = 70.6 \text{ mm.}$$

Para 10 años:

Z O N A	A R E A S		L L U V I A S	
	PLANIMETRO (Cm ²)	ESCALA (Km ²)	LAMINA mm	VOLUMEN LLOVIDO (10 ³ m ³)
1	2.8	0.7	73.7	51.59
2	14.6	3.6	75.2	270.72
3	20.3	5.1	76.9	392.19
4	16.6	4.1	79.0	323.90
5	13.9	3.5	81.0	283.50
6	19.5	4.9	83.2	407.68
7	20.7	5.2	85.0	442.00
8	27.9	6.9	87.3	602.00
9	25.3	6.3	88.6	558.18
10	7.8	1.9	90.7	172.33
SUMA	169.4	42.2	820.6	3 504.09

$$\text{Lámina media} = \frac{3\ 504.09}{42.2} = 83.04$$

$$\text{Lámina media} = 83.0 \text{ mm.}$$

Para 20 años:

Z O N A	A R E A S		L L U V I A S	
	PLANIMETRO (Cm ²)	ESCALA (Km ²)	LAMINA (mm)	VOLUMEN LLOVIDO (10 ³ m ³)
1	0.8	0.2	83.8	16.76
2	18.0	4.5	85.3	383.85
3	18.9	4.7	87.0	408.90
4	16.6	4.1	89.0	364.90
5	13.6	3.4	91.0	309.40
6	14.1	3.5	93.0	325.50
7	13.2	3.3	95.0	313.50
8	21.6	5.4	97.0	523.80
9	30.2	7.6	99.2	753.92
10	17.5	4.4	100.7	443.08
11	4.4	1.1	102.5	112.75
SUMA	168.9	42.2	1 023.5	3 956.36

$$\text{Lámina media} = \frac{3\ 956.36}{42.2} = 93.75$$

$$\text{Lámina media} = 93.8 \text{ mm.}$$

Para 50 años:

Z O N A	A R E A S		L L U V I A S	
	PLANIMETRO (Cm ²)	ESCALA (Km ²)	LAMINA (mm)	VOLUMEN LLOVIDO (10 ³ m ³)
1	11.7	3.0	97.4	369.7
2	19.9	5.0	99.0	524.7
3	16.9	4.3	101.0	434.3
4	13.0	3.3	103.0	339.9
5	12.0	3.0	105.0	315.0
6	12.4	3.1	107.0	331.7
7	14.1	3.5	109.0	381.5
8	21.2	5.3	111.0	588.3
9	30.8	7.7	113.0	870.1
10	13.7	3.4	114.8	390.3
11	2.5	0.6	116.5	69.9
SUMA	168.2	42.2	1 176.7	4 615.4

$$\text{Lámina media} = \frac{4\ 615.4}{42.2} = 109.36 \text{ mm}$$

Las láminas de lluvias anteriores, se utilizarán para estimar la altura de la lluvia efectiva, además el gasto máximo de la corriente.

3.2 Cálculo de Escurrimiento.

El escurrimiento es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes provienen de diversas fuentes y con base a ellas se considera al escurrimiento como: superficial o subterránea. (8) Fig. Núm. 3

El escurrimiento superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo hasta salir de la cuenca. Su efecto sobre el escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que esta cesa. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se denomina precipitación en exceso.

El escurrimiento subterráneo es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que este se ha saturado.

Los factores que afectan al escurrimiento se dividen en dos grupos:

a) Los que actúan directamente a la cantidad de lluvia en ex-

ceso, y los cuales son:

- Uso de la tierra.
- Condiciones de la superficie.
- Tipo de suelo.
- Cantidad y derivación de la lluvia.

b) Los que intervienen en la distribución del escurrimiento directo, los cuales son:

- Tamaño y forma de la cuenca.
- Pendiente del terreno.
- Efecto de retención del flujo por medio del tiempo de retorno.

Por otra parte los escurrimientos se obtienen por medio de una serie de aforos de la corriente en las estaciones hidrométricas; cuando no se cuenta con estación se procede a la estimación aplicando el criterio del Coeficiente de Escurrimiento, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Ved.} = \text{Ce VII} \text{ o bien } \text{Ce} = \frac{\text{Ved}}{\text{VII}}$$

Donde:

Ved. = volumen escurrido directo.

Ce = coeficiente de escurrimiento.

V11 = volumen llovido.

Ejemplo de cálculo:

Con los datos de los volúmenes llovidos, estimados por el método de Isoyetas, se procede a calcular el Coeficiente de Escurrimiento, el cual fue obtenido con los escurrimientos anuales observados en la estación Hidrométrica la Agraria, D.F., para el período 1982-1986. Obteniendo los siguientes resultados:

Volumen promedio escurrido (Observado): $11\ 668.3 \times 10^3 \text{ m}^3$

Volumen promedio llovido (Isoyetas) : $47\ 402.6 \times 10^3 \text{ m}^3$

$$Ce = \frac{Ved}{V11} = \frac{11\ 668.3}{47\ 402.6}$$

$$Ce = 0.2462$$

Aplicando el resultado anterior a los volúmenes llovidos, se determinan los valores anuales de escurrimiento, como se indica a continuación:

Escurrimiento deducido de la subcuena "Río San Buenaventura"
D.F.

AÑO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	VOLUMEN EN MILES DE M ³	
		LLOVIDO	ESCURRIDO
1961	0.2462	30 899.5	7 607.5
1962	0.2462	34 425.0	8 475.4
1963	0.2462	31 019.5	7 637.0
1964	0.2462	40 775.0	10 038.8
1965	0.2462	48 781.6	12 010.0
1966	0.2462	48 018.5	11 822.2
1967	0.2462	60 915.0	14 997.3
1968	0.2462	47 886.2	11 789.6
1969	0.2462	50 100.9	12 334.8
1970	0.2462	48 663.8	11 981.0
1971	0.2462	47 964.1	11 808.8
1972	0.2462	52 708.2	12 976.8
1973	0.2462	53 744.4	13 231.9
1974	0.2462	53 376.5	13 141.3
1975	0.2462	46 123.7	11 355.7
1976	0.2462	54 636.3	13 451.5
1977	0.2462	45 053.9	11 092.3
1978	0.2462	53 564.1	13 187.5
1979	0.2462	42 375.6	10 432.9
1980	0.2462	51 164.1	12 596.6
Suma:		999 628.2	246 108.7
Promedio:		47 601.3	11 719.5

Volumen Máximo = 14 997.3

Volumen Mínimo = 7 607.5

El cuadro anterior da una idea aproximada del orden de los volúmenes que escurrieron por la zona de estudio, período 1961-1980.

A continuación se enlista los escurrimientos anuales observados en la estación hidrométrica La Agraria, D.F., período 1982-1986.

AÑO	ESCURRIMIENTO EN 10^3 m^3
1982	3 945.5
1983	13 949.3
1984	12 829.2
1985	16 725.6
1986	10 892.0
Suma:	58 341.6
Promedio	11 668.3
Escurrimiento máximo (1985):	16 725.6
Escurrimiento mínimo (1982):	3 945.5

Fuente: SARH. Comisión Nacional del Agua, Programa Hidraulico en el D.F.

Comparando el escurrimiento observado con el deducido se percibe que el valor promedio de ambos son parecidos, por lo tanto, dichos valores son aceptables.

3.3 Infiltración.

Infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos del suelo moviéndose hacia el manto freático, producido por la acción de las fuerza gravitacionales y capilares del suelo. (9)

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida, recibe el nombre genérico de pérdidas.

Los factores que afectan la capacidad de infiltración son:

- uso del suelo
- textura del suelo
- cubierta vegetal
- contenido de humedad inicial
- aire atrapado
- compactación
- temperatura, etc.

Para medir la infiltración del suelo se utiliza el infiltrómetro, aparato que sirve para determinar la cantidad de agua que se transmite a través del suelo, cuando se carece de este instrumento se deduce por métodos empíricos.

Cuando se tienen mediciones simultáneas de lluvia y volumen de escurrimiento en una cuenca las pérdidas se calculan de acuerdo a la siguiente expresión, ⁽¹⁰⁾

$$V_p = V_{11} - V_{ed}.$$

Donde:

V_p = volumen de pérdidas.

V_{11} = volumen de lluvia.

V_{ed} = volumen de escurrimiento directo.

Si ambos miembros de la expresión anterior se divide entre el área de cuenca se obtiene:

$$F = I - R$$

Donde:

F = infiltración o lámina de pérdidas acumulada.

I = altura de lluvia acumulada.

R = escurrimiento directo acumulado

Cuando no se cuenta con datos de aforo en la cuenca se utili-

za el método propuesto por el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos Americanos, denominado, "Número de Escurrimiento", en la cual hace intervenir:

- la magnitud de la lluvia en 24 horas.
- uso actual del suelo.
- condiciones de la superficie.
- tipo de suelo.
- textura del suelo.
- húmedad.

La fórmula propuesta por dicho Departamento es la siguiente:

$$Pe = \frac{10 \left(\frac{Pm}{10} + \frac{508}{Ne} + 508 \right)}{\frac{Pm}{10} + \frac{2\ 032}{Ne}} - 20.32$$

Donde:

- Pe = lámina en exceso o escurrimiento en mm.
- Pm = Lámina de precipitación en la cuenca, correspondiente a la tormenta.
- Ne = número o índice de escurrimiento.

Para determinar los valores de N_e , se utilizan las cartas disponibles de uso del suelo y edafológica, con el propósito de conocer la textura del suelo, tomando en cuenta los siguientes tipos: (11)

- Tipo A. Suelos de gravas y arenas de tamaño medio. General escurrimiento mínimo.
- Tipo B. Suelos de arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arenas y limos. Generan escurrimientos inferior al medio.
- Tipo C. Suelos de arena muy fina, arcilla de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla. Generan escurrimiento superior al medio.
- Tipo D. Suelos arcillosos de alta plasticidad impermeable. Generan el mayor escurrimiento.

Conocido el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación anterior y tomando en cuenta el uso que tenga el suelo, con el cuadro siguiente se podrá conocer el valor de N_e .

SELECCION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO Ne

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

Fuente: Rolando Springall. Drenaje en cuencas pequeñas
 Instituto de Ingeniería UNAM
 México, 1969.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo aplicado a la subcuenca "Río San Buenaventura", D.F.

USO DEL SUELO	CONDICION DE LA SUPERFICIE	TIPO DE SUELO	AREA †	PRODUCTO Ne	
Agricultura (73.8 †)	Surcos en curvas de nivel	Foezen(C-D)	85	60	51.00
		Litosol(D)	87	5	4.35
		Andosol(A-B)	72	35	25.20
					<u>80.55</u>
	$Ne = (80.55)0.738 = 59$				
Bosques (11.1 †)	Ralo, baja transpiración	Foezen(B-C)	76	5	3.80
		Litosol(C-D)	79	95	35.55
		Andosol(A-B)	48	50	24.00
					<u>63.35</u>
	$Ne = (63.35)0.11 = 8.0$				
Pastizal (9.3 †)	Normal	Litosol(D)	84	5	4.20
		Andosol(A-B)	59	95	56.05
					<u>60.25</u>
	$Ne = (60.25)0.93 = 5.6$				
Vegetación Secundaria (0.1†)	Potrero	Foezen(C-D)	75	80	60.00
		Litosol(C-D)	78	5	3.90
		Andosol(A-B)	44	15	6.60
					<u>70.50</u>
	$Ne = (70.5)0.001 = 0.1$				
Zona Urbana (4.9 †)	Superficie impermeable		100	100	100.00
	$Ne = (100)0.49 = 4.9$				

Resumiendo:

<u>Uso del suelo</u>	<u>Ne.</u>
Agrícola	59.4
Bosque	7.0
Pastizal	5.6
Vegetación Secundaria	0.6
Zona Urbana	<u>4.7</u>
	77.5

Número de escurrimiento total en la subcuenca "Río San Buenaventura", D.F. = 77.5, con este resultado y con las características físicas de la subcuenca se estima la altura de la lluvia efectiva a partir de la total.

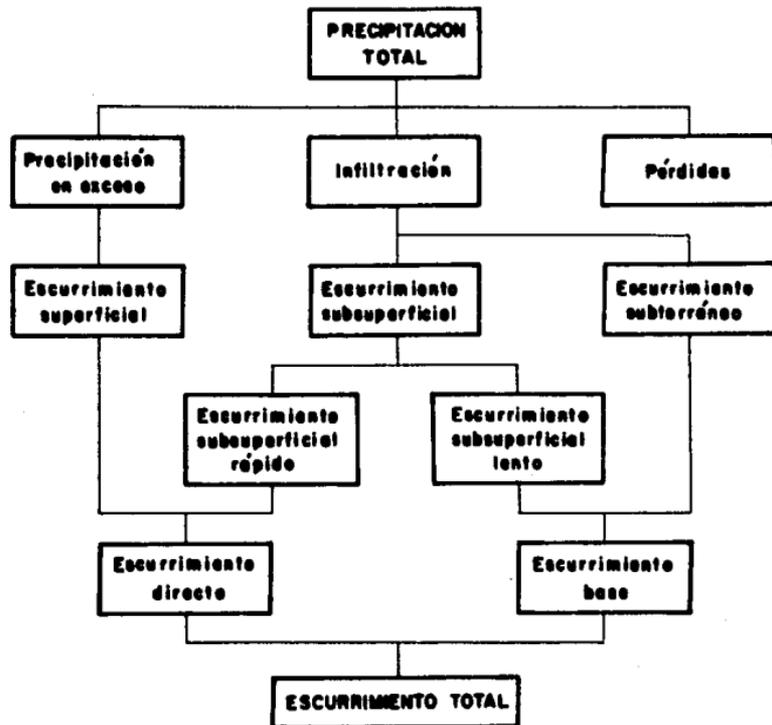


FIG. NUM. 3 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION Y EL ESCURRIMIENTO

CAPITULO 4. DETERMINACION DE AVENIDAS

4,1 Clasificación de Avenidas

En una sección transversal de un río podemos definir tres zonas principales:

- 1).- La ocupada por el lecho o cajón del río, generalmente, con agua o humedad.
- 2).- La zona media, generalmente, seca, pero esporádicamente afectada por las avenidas.
- 3).- La zona alta fuera del alcance de las aguas en las avenidas máximas.

Los mayores daños ocurren en la zona media que es ocupada, al gunas veces, por asentamientos humanos.

Teniendo una buena documentación de las avenidas ocurridas en un lapso grande, habrá una avenida que por la magnitud puede esperarse que ocurra cada año, otra mayor una vez en diez años o diez veces en promedio cada cien años y así otra, una vez en cien años o diez veces en mil años. Es decir, podrían trazarse líneas en el terreno a ambos lados del río que marcaran una posibilidad contra diez, cien, mil, etc. a que el agua las sobrepase en un período de un año. A estas líneas

se llaman líneas de crecientes en diez años, cien, mil, etc. las cuales si se tomaran en cuenta se prevenirían inundaciones y desastres.

Por lo que, se define como avenida, a un aumento considerable en el gasto de una corriente, lo cual es debido a lluvias torrenciales o tormentas ocurridas en su cuenca de captación. (13)

En la mayor parte del país las avenidas de gran magnitud son producidas por lluvias de origen ciclónico; exceptuando el noroeste, en donde han ocurrido en invierno provocadas por lluvias denominadas "equipatas", que son originadas por el choque de grandes masas de aire frío continental y masas de aire húmedo.

Las características que definen una avenida, son:

- magnitud
- forma
- duración
- frecuencia

La magnitud esta en función de la intensidad y forma de ocurrir la lluvia y además de las características de la cuenca de captación, tales como topografía, tipo y cantidad de vegetación,

permeabilidad del suelo, etc, mientras que la forma, duración y frecuencia dependen exclusivamente de los agentes meteorológicos que provocan las lluvias.

En relación a lo anterior las avenidas se clasifican de la siguiente manera:

- Avenida Máxima Instantánea.- Es la máxima cantidad de agua que escurre en un instante durante el período considerado (Pico de la avenida)
- Avenida Máxima Instantánea Anual Media.- Es el promedio de las máximas instantáneas anuales.
- Avenida Máxima Diaria.- Es la máxima cantidad de agua que escurre en un día.
- Avenida Máxima Anual en un Día.- Es el máximo gasto ocurrido, registrado en un día comprendido dentro de un período de un año.
- Avenida Máxima Media en un Día.- Es la media de todas las avenidas máximas anuales en un día para el período de años considerados.

La magnitud de esta avenida, se emplea como base para la estimación de otras avenidas, simplemente, se le llama Avenida Media.

Los métodos existentes para el cálculo de avenidas máximas, se clasifican de la siguiente manera: (14)

- a) Cuando se cuenta con información hidrométrica.
- b) Cuando no se cuenta con información hidrométrica.

Cuando se cuenta con información hidrométrica y climatológica en cuencas grandes, se recomienda los siguientes métodos:

- a) Curva de Duración

PLANTEAMIENTO ESTADISTICO

- b) Curva de Frecuencia

- a) Método Alder Foster

- b) Método Allen Hazen

- c) Método W. E. Fuller

PLANTEAMIENTO PROBABILISTICO

- d) Método Gumbel

- e) Método Nash

- f) Método Lebediev

Métodos recomendados para cuencas pequeñas cuando no se cuenta con información hidrométrica, pero sí de información climatológica:

PLANTEAMIENTO RACIONAL

a) Racional Básico

b) Gregory-Arnold

a) Ven Te Chow

b) Almacenamiento Lineal

PLANTEAMIENTO LINEAL
PROBABILÍSTICO

c) I Pai Wu

d) Hidrograma Unitario

e) Envoltentes de Gastos
Máximos.

4.2 Determinación de Avenidas por los Métodos de Gregory-Arnold y Ven Te Chow.

Para el cálculo de la Avenida Máxima Probable existen varios métodos; a continuación solamente indicaremos dos de los que se aplican con más frecuencia en cuencas pequeñas,

- 1.- Método Racional de Gregory-Arnold,
- 2.- Método Probabilístico de Ven Te Chow,

1.- Método Racional de Gregory-Arnold.

Los autores R.L. Gregory y C.E. Arnold analizaron con detalle el Método Racional e hicieron investigaciones del Gasto Máximo de una cuenca y su hidrograma como resultado al estímulo de una precipitación cubriendo toda la cuenca. Ambos establecieron un modelo matemático en la cual intervienen factores que influyen en la magnitud del Gasto Máximo y el volumen de la creciente. Entre estos factores se tienen las características físicas de la cuenca y del cauce. Y en el aspecto climático, la magnitud e intensidad de la precipitación y las condiciones previas de humedad de la cuenca,

La expresión generada del modelo es la siguiente: (15)

$\frac{5.6}{1000}$ = constante para conversión de unidades.

e = exponente que caracteriza a la forma de la tormenta, se determina de tormentas reales. El valor de "e" puede tener diversos valores dependiendo del tiempo de concentración, para su determinación se utilizan los siguientes valores:

e = 0.45 a 0.50 Para cuencas muy grandes con tiempo de concentración igual o mayor de 48 horas.

e = 0.50 a 0.55 Para cuencas grandes con tiempo de concentración mayor de 24 horas y menor de 48 horas.

e = 0.55 a 0.60 Para cuencas medianas con tiempo de concentración entre 6 y 24 horas.

e = 0.60 a 0.70 Para cuencas chicas, con tiempo de concentración entre 6 y 24 horas.

e = 0.70 a 0.80 Para cuencas muy pequeñas, con tiempo de concentración menor de 1 hora.

$$Q_{\text{máx.}} = \left(\frac{J}{7.2}\right) \frac{(5.6)^{4\text{eg}}}{(1000)^{2\text{eg}}} \left(\frac{P}{L}\right)^{4\text{eg}} (Tc)^{4\text{eg}} (C.A.I_p) (F)^{8\text{eg}} (S_p)^{1.5\text{eg}}$$

Donde:

$Q_{\text{máx.}}$ = gasto máximo en m^3/s

$\frac{J}{7.2}$ = parámetro que esta en función al tipo de curva de la avenida. Para su determinación se utiliza la siguiente tabla:

<u>TIPO DE CURVA</u>	<u>VALOR DE J.</u>	<u>RECOMENDACIONES PARA SU USO</u>
Parábola	1.5	Para cuencas que por las condiciones del cauce y cubierta vegetal es de esperarse un efecto atenuador sobre el pico de la creciente.
Triángulo Isóceles y Coseno	2.0	Cuencas en condiciones normales del cauce y cubierta vegetal, sin zona de inundación.
Probabilidad	2.4	Cuencas pequeñas de escasa vegetación, impermeable, cauce profundo y sin zona de inundación.

P = Índice que depende de la geometría de la cuenca y su manera de concentración. Los autores proporcionan la figura N.º 4, donde se puede seleccionar el tipo de cuenca, auxiliándose con la gráfica que se encuentra en la parte izquierda del mismo cuadro.

L = longitud del río principal en Km.

Tc = tiempo de concentración en horas, se obtiene con la siguiente fórmula propuesta por Rowe:

$$T_c = \left(\frac{0.86 L^2}{S} \right) 0.385$$

Donde:

L = longitud del río principal en Km.

S = pendiente del río principal, expresado al millar.

C = coeficiente de escurrimiento.

A = área de la cuenca en Km²

F = parámetro que varía con la forma y condición física del cauce y su valor puede seleccionarse con auxilio de los cuadros Nos. 1 y 2

I_p = intensidad de la lluvia promedio en mm/hr se obtiene mediante la ecuación:

$$I_p = \frac{K}{(1-e)Tc^e} = \frac{K(3.6 v_m)}{(1-e)Tc^e} \quad \text{Donde:}$$

$$K = I_p (1-e)Tc^e$$

La velocidad media de recorrido del escurrimiento, desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de estudio se representa con la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{1000 (L)}{3600 (Tc)} = \frac{L}{3.6(Tc)} \quad \text{en m/s}$$

Donde:

L = longitud del río principal

Tc = tiempo de concentración de la cuenca hasta el sitio de estudio.

S_p = pendiente equivalente del cauce.

Aplicación del método. Subcuenca "Río San Buenaventura" D.F.

Para un tiempo de retorno de 5 años.

Datos básicos:

Area de cuenca	42.2 Km ²
Longitud del río	16.46 Km.
Pendiente equivalente al millar	67.46
Talud de las paredes laterales	1:1
Relación del ancho del cauce a la altura	4:1
Coefficiente de rugosidad	0.04
Lámina de pérdidas medias	u = 0.6
Tipo de tormenta	e = 0.6
Tipo de hidrograma (J)	2.0

Lámina de lluvias obtenidas por isoyetas de precipitación máximas en 24 horas:

Tiempo de retorno	Lluvia en mm. 24 hrs.	Tiempo de concentración	Coefficiente de escurrimiento	Intensidad de lluvia en mm.
5 años	70.6	0.75	0.3409	23.34
10 años	83.0	0.69	0.3953	28.89
20 años	93.8	0.63	0.4360	22.41
50 años	106.4	0.62	0.4785	26.15
100 años	116.6	0.57	0.5113	45.38

- Obtención del tipo de cuenca y forma de concentración:

$$W = \frac{A}{L} = \frac{42.2}{16.46} = 2.5638$$

$$\frac{L}{W} = \frac{16.46}{2.563} = 6.4202$$

De acuerdo con la relación $\frac{L}{A}$ y observando la hidrográ-
fía de la cuenca, se acepta el tipo de cuenca Núm. 5 de acuer-
do con la figura Núm. 4

Con el valor 6.4202 se entra a la gráfica auxiliar que se en-
cuentra en la parte izquierda de la misma gráfica, obteniendo
una forma de concentración "RETARDADA".

- Obtención del factor "P"

Con el valor de $\frac{L}{W}$ y con la forma de concentración se obtie-
ne.

$$P = 0.5603$$

- Obtención del Tiempo de Concentración (Tc)

Para determinar el Tiempo de Concentración se calcula por tan-

teos, en este caso solamente se citará el último tanteo o sea el correcto: $T_c = 0,75$ horas.

- Teniendo el T_c , se procede a calcular la intensidad media de lluvia para un Período de Retorno de 5 años:

$$I_p = \frac{K}{1-e(T_c)^e} = \frac{7.898563}{1-0.6(0.75)^{0.6}} = \frac{7.898563}{0.4(0.84147)} = \frac{7.898563}{0.336588}$$

$$I_p = 23.466701 \text{ mm.}$$

- Cálculo de "g" para un valor de "e" = 0.6

$$g = \frac{1}{4-e} = \frac{1}{4-0.6} = \frac{1}{3.4} = 0.2941$$

$$eg = 0.1764$$

$$4g = 1.1764$$

$$2eg = 0.3529$$

$$4eg = 0.7056$$

$$8eg = 1.4112$$

$$1.5eg = 0.2646$$

Aplicando la ecuación general:

$$Q. \text{ Máx.} = \frac{J}{7.2} \frac{(3.6)^{4eg}}{(1000)^{2eg}} \left(\frac{P}{L}\right)^{4eg} (Tc)^{4eg} (C.A.I_p)^{4g} (F)^{8eg} (S_p)^{1.5}$$

$$\frac{J}{7.2} = \frac{2.0}{7.2} = 0.277778$$

$$\frac{(3.6)^{4eg}}{(1000)^{2eg}} = \frac{(3.6)^{0.7056}}{(1000)^{0.3529}} = \frac{2.4690}{11.4472} = 0.215686$$

$$\left(\frac{P}{L}\right)^{4eg} = \left(\frac{0.5603}{16.46}\right)^{0.7056} = (0.0340)^{0.7056} = 0.092081$$

$$(Tc)^{4eg} = (0.756)^{0.7056} = 0.8289$$

$$(C.A.I_p)^{4g} = (0.3409 \times 42.2 \times 23.34)^{4g} = 335.768773^{1.1764} \\ = 936.771910$$

$$(F)^{8eg} = (4.0546)^{1.4112} = 7.210016$$

$$(S_p)^{1.5eg} = (67.46)^{0.2646} = 3.047654$$

$$Q. \text{ M}^{\text{á}}\text{x.} = 0,277778 \times 0,215686 \times 0,092081 \times 0,820890 \times$$

$$936,771810 \times 7,210016 \times 3,047654 = 93,22$$

$$Q. \text{ M}^{\text{á}}\text{x.} = 93,22 \text{ M}^3/\text{S.}$$

Comprobación:

$$Q. \text{ M}^{\text{á}}\text{x.} = \frac{J(C) (I_p) (A)}{7.2} = \frac{2(0.3409)(23.34)(42.2)}{7.2}$$

$$= \frac{671.537546}{7.2} = 93.26 \text{ M}^3/\text{S}$$

Siguiendo el mismo procedimiento, se calculó el Gasto Máximo para diferentes periodos de retorno, obteniéndose los siguientes resultados:

PERIODO DE RETORNO EN AÑOS	LLUVIA EN 24 HORAS mm	INTENSIDAD DE LLUVIA mm	TIEMPO DE CONCENTRA HORAS	GASTO MÁXIMO M ³ /S
5	70.6	23.47	0.75	93.262
10	83.0	28.89	0.69	133.773
20	93.8	22.41	0.63	188.105
50	106.4	26.15	0.62	223.237
100	116.6	45.38	0.58	272.010

Cuadro Núm. 2 VALORES DEL FACTOR F (INDICE DE LAS CONDICIONES DEL CAUCE) PARA SECCIONES ABIERTAS CON PAREDES INCLINADAS.

TALUD	ANCHO DEL FONDO POR LA ALTURA	0.025	0.030	0.035	0.040	0.050	0.100
1/2:1	Forma en V	3.88	3.64	3.45	3.36	3.19	2.32
	1 por 1	4.07	3.81	3.61	3.52	3.34	2.43
	2 por 1	4.05	3.79	3.60	3.51	3.33	2.37
	4 por 1	3.96	3.71	3.52	3.43	3.25	2.37
	8 por 1	3.78	3.55	3.37	3.29	3.12	2.27
	16 por 1	3.56	3.33	3.16	3.08	2.92	2.13
	30 por 1	3.34	3.13	2.90	2.89	2.74	2.00
	100 por 1	2.89	2.71	2.57	2.51	2.38	1.73
1:1	Forma en V	3.99	3.74	3.55	3.46	3.28	2.39
	1 por 1	4.04	3.78	3.58	3.49	3.31	2.42
	2 por 1	4.01	3.74	3.56	3.47	3.29	2.40
	4 por 1	3.91	3.67	3.47	3.38	3.21	2.35
	8 por 1	3.75	3.52	3.34	3.26	3.09	2.24
	16 por 1	3.55	3.31	3.15	3.07	2.91	2.12
	30 por 1	3.31	3.11	2.95	2.88	2.73	1.98
	100 por 1	2.89	2.72	2.57	2.51	2.38	1.73
2:1	Forma en V	3.88	3.64	3.45	3.36	3.19	2.32
	1 por 1	3.88	3.64	3.45	3.36	3.19	2.32
	2 por 1	3.86	3.62	3.44	3.35	3.18	2.32
	4 por 1	3.80	3.56	3.38	3.29	3.12	2.27
	8 por 1	3.67	3.43	3.26	3.18	3.02	2.21
	16 por 1	3.50	3.27	3.11	3.03	2.88	2.10
	30 por 1	3.29	3.08	2.92	2.85	2.70	1.97
	100 por 1	2.89	2.70	2.56	2.50	2.37	1.73
	Forma en V	3.74	3.52	3.33	3.25	3.08	2.24
	1 por 1	3.74	3.52	3.33	3.25	3.08	2.24
	2 por 1	3.73	3.49	3.31	3.23	3.06	2.23
	4 por 1	3.69	3.45	3.28	3.20	3.03	2.21
	8 por 1	3.38	3.36	3.19	3.11	2.95	2.16
	16 por 1	3.45	3.23	3.06	2.98	2.83	2.06
	30 por 1	3.27	3.06	2.91	2.84	2.69	1.95
	100 por 1	2.86	2.69	2.55	2.49	2.36	1.72

FUENTE:

Instructivo de Hidrología para determinar
Avenida Máxima Ordinaria. SARH. Subdirección
de Seguridad de Presas.

Cuadro Núm. 3 VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD N DE HORTON PARA USARSE EN LAS FORMULAS DE MANNING Y KUTTER EN CAUCES DE CORRIENTES NATURALES.

CONDICION DE LA SUPERFICIE	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	MALA
(1) Limpio, riberas rectas, embalses completo, sin grietas o pozas profundas.	0.025	0.027	0.030	0.033
(2) Semejante al (1) pero con algunas hierbas y piedras	0.030	0.033	0.035	0.040
(3) Sinuoso, algunas pozas y bancos de arena, limpios.	0.033	0.035	0.040	0.045
(4) Semejante al (3) con algunas hierbas y piedras.	0.035	0.040	0.045	0.050
(5) Semejante al (3) con embalses bajos, secciones y pendientes	0.040	0.045	0.050	0.055
(6) Igual a (5), con secciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060

(7)	Rfos de orillas lentas o inactivas algo de hierbas.	0.050	0.060	0.070	0.080
(8)	Rfos de orillas con mucha maleza.	0.075	0.100	0.125	0.150

Fuente: Instructivo de Hidrología para determinar Avenida Máxima Ordinaria. SARH. Subdirección de Seguridad de Presas.

2.- Método de Ven Te Chow.

El modelo propuesto por Ven Te Chow, se basa en el concepto de 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 Km². El escurrimiento está gobernado por tres tipos de factores: climatológicos, físicos y geométricos de la cuenca.

La fórmula propuesta por este autor, para calcular el gasto de la avenida en una cuenca es la siguiente: (16)

$$Q_m = A X Y Z$$

Donde:

A = área de la cuenca, en Km².

X = factor de escurrimiento, en m³.

Y = factor climático.

Z = factor de reducción del pico.

Para la aplicación de este método es necesario contar con la siguiente información:

1.- Datos fisiográficos:

- área de la cuenca.
- longitud del cauce principal.
- pendiente media del cauce principal.
- tipo de suelo de la cuenca.
- uso del suelo de la cuenca.

2.- Datos climatológicos:

- curva de Duración-Intensidad-Período de Retorno para la estación base en la zona de estudio.
- forma de ligar la estación base con la zona de estudio.

El procedimiento de cálculo para obtener el gasto máximo con un determinado tiempo de retorno empleando el método de Chow, es el siguiente:

- 1) con los datos del tipo y uso del suelo, se calcula el valor de "N". Se obtiene con auxilio del cuadro Núm. 1

- 2) se escoge una cierta duración de lluvia, "d"
- 3) de las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno, se calcula la intensidad para esa tormenta. Multiplicando la intensidad de lluvia por la duración "d", se obtiene la precipitación " P_b ", en centímetros. gráfica Núm. 3
- 4) con el valor de "N" calculado en (1) y el valor de " P_b " en (3), se calcula la lluvia en exceso en la estación base, P_{eb} , empleando la siguiente ecuación o la gráfica Núm. 4

$$P_e = P_{eb} = \frac{(P-508/N+5,08)^2}{P+2032/N-20,32}$$

- 5) con el valor de P_{ed} calculado en el inciso anterior y el valor de "d" escogido en (2), se calcula el factor "X", con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{P_{eb}}{d}$$

- 6) usando la siguiente ecuación se obtiene el factor "Y"

$$Y = 2.78 \frac{P}{P_{eb}}$$

7) con la longitud y la pendiente del cauce, se obtiene T_r

$$T_r = \left(\frac{L}{S} \right)^{0.64}$$

8) se calcula la relación d/t_p y empleando la gráfica N^om. 5 se obtiene el valor de "Z" o con la siguiente ecuación.

$$Z = \frac{q_m d}{2.78 A}$$

Ejemplo de calculo, para una frecuencia de 5 años:

A continuación se ilustra el método para obtener el Gasto Máximo Probable.

Datos:

Area de la subcuenca	42.2 Km ²
Longitud del rfo	16.46 Km.
Pendiente	6.746 ‰

1- Se escoje la duración de la lluvia $d = 0.30$ horas. Para esta duración se encuentra la intensidad correspondiente, entrando a la curvas Intensidades-Duración-Perfodo de Retor no. Gráfica N^om. 3

- 2- Obtenida la intensidad de la lluvia para el periodo de retorno, se calcula la "P",

$$P = d \times I$$

$$P = 0,30 \text{ hrs} \times 8,0 \text{ cm/hrs}$$

$$P = 2,4 \text{ cm.}$$

- 3- Con el valor de "P" y el de "N", se entra a la gráfica -
Núm. 4, y se obtiene el valor de "P_b".

$$P = 2,4 \text{ cm.} \quad N = 75$$

$$P_b = 0,2 \text{ cm.}$$

- 4- Ahora se calcula el valor de X.

$$X = \frac{P_b}{d} = \frac{2,4}{0,3}$$

$$X = 0,666$$

- 6- En función de la longitud del cauce principal y la pendiente del mismo, se obtiene el valor de Tr.

$$Tr = 0,00505 \left(\frac{L}{S} \right)^{0,64}$$

$$Tr = 0,00505 \left(\frac{16\ 460}{6,7} \right)^{0,64}$$

$$Tr = 0,75$$

- 7- Para calcular el valor de Z, es necesario obtener la relación d/Tr , con el resultado se entra a la gráfica Núm.5

$$\frac{d}{Tr} = \frac{0.30}{0.75} = 0.4$$

$$Z = 0.32$$

- 8- Obtención del Gasto Máximo Probable:

$$\text{Gasto Máximo} = A \times X \times Y \times Z$$

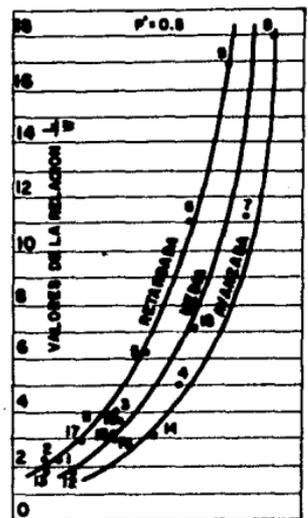
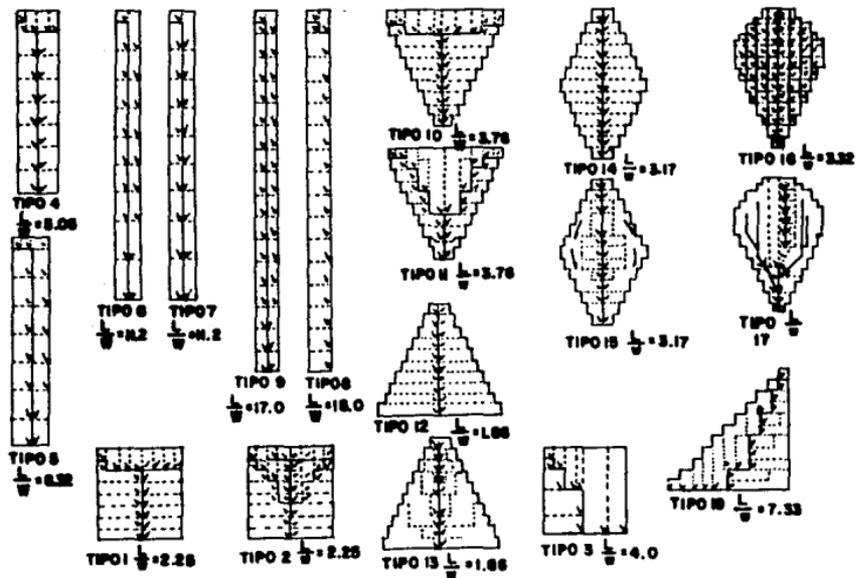
$$G. \text{ Máx.} = 42.2 \times 0.666 \times 10.109 \times 0.32 = 90,0 \text{ M}^3/\text{S.}$$

- 9- Los pasos del (3) al (9) se repiten para cada una de las duraciones de tormenta "d" que se necesiten.

Como puede observar el Gasto obtenido por ambos método, para una frecuencia de 5 años es parecido.

$$\text{Gregory-Arnold} = 93.22 \text{ M}^3/\text{S.}$$

$$\text{Ven Te Chow} = 90.00 \text{ M}^3/\text{S.}$$



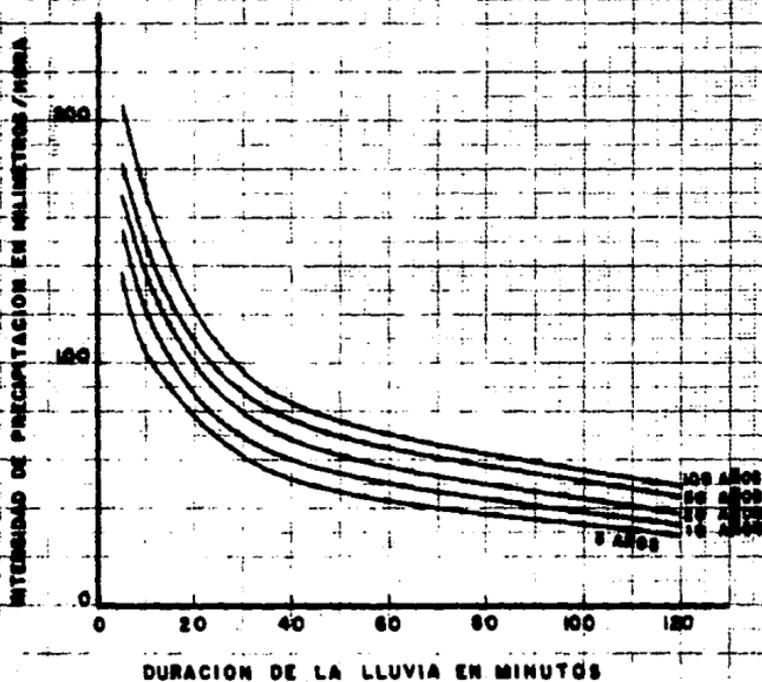
GRAFICA AUXILIAR
PARA DETERMINAR LA FORMA DE CON-
CENTRACION

Fig. No. 4 FORMAS TÍPICAS DE CUENCAS Y MODO DE CONCENTRACION
Fuente: SARN, Subdirección de Seguridad de Presas.

CURVAS DE INTENSIDAD - DURACION - PERIODO DE RETORNO

ESTACION: AJUSCO, D. F.

PERIODO: 1955 - 1988



GRAFICA NUM. 3 INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DISTINTAS DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO (mm/h)

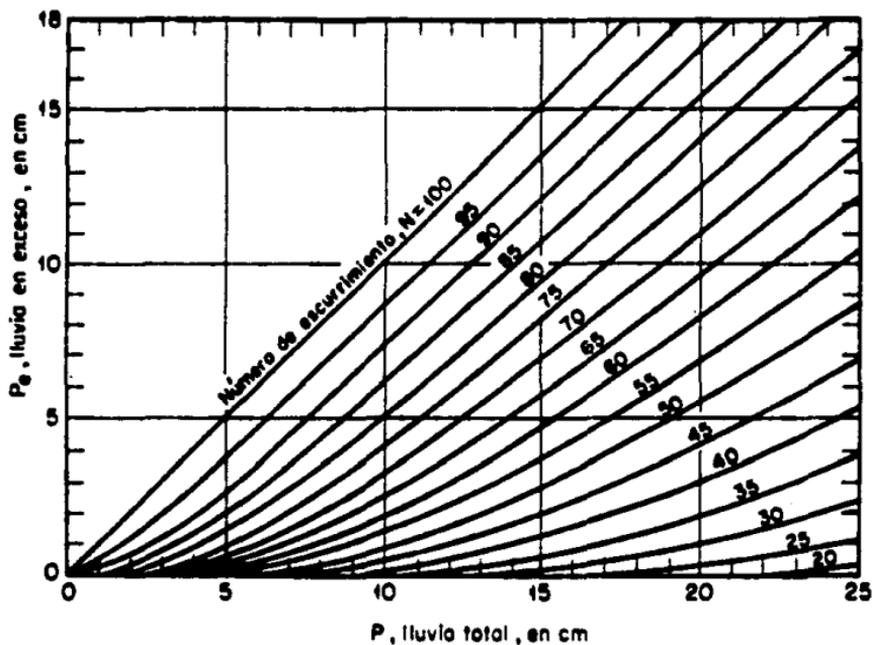
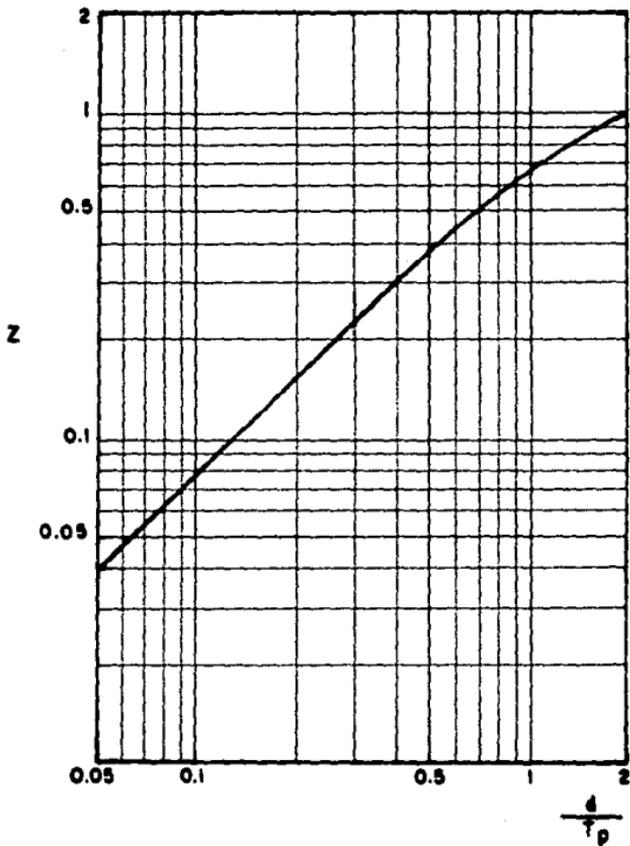


Gráfico Num 4. Relación entre la lluvia total y la lluvia en exceso para diferentes números de escurrimiento



GRAFICA NUM. 5 RELACION ENTRE Z y $\frac{d}{T_p}$

FUENTE: Rolando Springel. Drenaje en Cuencas Pequeñas.
 Facultad de Ingeniería. UNAM.

En base a los resultados del estudio y a los objetivos planteados, se llega a las siguientes conclusiones.

Indudablemente las características físicas de una cuenca o subcuenca hidrográfica influyen de manera determinante en el comportamiento hidrológico de la misma, así como en las consecuencias que ocasionan.

La obtención de las características físicas, como son las Relaciones geométricas, de forma y topográficas, constituyen el punto de partida para llegar al conocimiento del régimen hidrológico de una región e inclusive a su evaluación.

En base a las dimensiones y características físicas obtenidas en la zona de estudio, se demuestra que es una subcuenca pequeña de forma alargada, con pendiente fuerte y suelos permeable de origen volcánico con textura media y gruesa desprovisto de vegetación.

Las características anteriores y el uso inadecuado del suelo provocan que la precipitación que se presenta en los meses de mayo a septiembre originan escurrimientos violentos que arrazan el material del suelo, que ha sido puesto al descubierto por el hombre, provocando la migración del suelo.

La red hidrográfica es de tipo dendrítico, formado propiamente por arroyos que fluyen de manera temporal, salvo la corriente principal representada por el Río San Buenaventura, que es-

curre en forma permanente sobre rocas ígneas y en ocasiones en rocas sedimentarias, este hecho demuestra que es un sistema fluvial poco ramificado debido a la extensión de la subcuenca, lo que ocasiona que la zona sea sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración.

En base al volumen llovido y aplicando el Coeficiente de Escorrimento, la aportación media anual hasta la estación hidrométrica la Agraria, es del orden de 11,7 millones de metros cúbicos en el período 1961-1980, volumen que demuestra que en la región se presentan lluvias de gran magnitud.

En relación al uso del suelo y tipo del mismo, el Número de Escurrimento resultante es de 77.51, valor que significa acelerado escurrimento, provocando que la infiltración sea mínima, debido a que en la mayor parte de la subcuenca se encuentra desprovisto de vegetación, acentuando la formación de cauces profundos y estrechos que estimulan la acumulación de agua en corto tiempo y por lo tanto aumenta la velocidad de la corriente y disminuyen los tiempo de acumulación de las crecientes.

Los gastos hidrológicos calculados con la aplicación de los métodos de Gregory-Arnol- y Ven Te Chow son semejantes, por lo que ambos métodos son confiables para aplicarlos en subcuencas pequeñas cuando no se cuenta con información hidrométrica, pero sí de información climatológica.

Debido, a que, los principales problemas que presenta la subcuenca "Rfo San Buenaventura" son los grandes volúmenes de agua y azolve que descienden por sus cauces en forma violenta provocando inundación en las zonas agrícolas y urbanas, para evitar lo anterior es necesario la construcción de represas con el propósito de suavizar la pendiente, además la subcuenca requiere de acciones de conservación de suelos, entre los que destacan, el control de cauces y reforestación. por otro lado evitar los asentamientos humanos en la zona federal del cauce.

- ACARREO. Material de cualquier clase transportado y depositado de un lugar a otro, por la acción de proceso de orden geológico.
- ACUIFERO. Formación de rocas que dejan mover el agua a través de ellas bajo condiciones normales y son capaces de suministrarla por gravedad o bombeo.
- AFLUENTE. Curso secundario de agua o ramificación que se une al río principal.
- AFORO. Medición del caudal de agua que pasa por un conducto, canal o río.
- AGUAS ARRIBA. Dirección contraria al curso del río, por oposición a aguas abajo.
- AGUAS ARTESIANAS. Aguas que se encuentran almacenada bajo presión, cuando es alcanzada por un pozo, es capaz de elevarse sobre el nivel al que se le encontró.
- AGUAS CORRIENTES. Aguas que se mueven en la superficie.
- AGUAS FREATICAS. Son las aguas subterráneas situadas en la capa más cercana a la superficie.
- AGUAS RESIDUALES. Aguas procedentes de uso doméstico o industriales.
- AGUAS SUBTERRANEAS. Son aguas llegadas al subsuelo por infiltración.
- ALUVIAL. Terreno compuesto de aluviones, localizados en llanuras y márgenes de ríos.

AREA DE CUENCA. Superficie delimitada por laderas y cauces.

ARREICA. zona cuyas aguas no tienen salida al mar.

AVENIDA DE UNA CORRIENTE Incremento en el régimen de escurrimiento de la misma, llegando a un máximo para luego llegar a su gasto base.

AZOLVE. Sedimentos transportados por el agua, en los lagos, canales y zonas inundadas.

BARRANCA. Pendiente abrupta de una superficie llana hacia el lecho de un río.

BRECHA. Fragmentos de rocas angulares y gruesos cementados,

CARCAVA. Zanja que se forma por efecto de la erosión de las aguas sobre las laderas de los cerros arcillosos.

CAUDAL. Cantidad de agua que pasa por una sección del río en determinado período de tiempo.

CICLO HIDROLOGICO. Ininterrumpido intercambio de agua entre el mar, el aire y la Tierra.

CLIMA. Estado medio de los fenómenos meteorológicos durante un largo espacio de tiempo.

COLECTOR. Cauce que reúne las aguas procedentes del escurrimiento.

CORRIENTE, Desplazamiento o flujo de agua,

CUENCA. Región de la superficie terrestre que vierte sus aguas en un lago u océano, formada por un río principal y arroyos afluentes.

CUERPO RECEPTOR. Cualquier corriente o cuerpo de agua que recibe o puede recibir descargas residuales.

CURVA DE NIVEL. Línea generalmente curva o sinuosa que une puntos de igual cota.

CURVIMETRO. Aparato usado para medir distancias tales como la longitud de una carretera, ferrocarril o río.

DENUDACION. Proceso de desintegración de las rocas por la acción del viento, agua o hielo.

DRENAJE. Extracción del exceso del agua superficial o del interior del suelo, conducidas por drenes superficiales o subterráneas.

EMBALSE. Depósito que se forma artificialmente para almacenar las aguas, a fin de utilizarlas para riego, hidrogeneración, abastecimiento directo y control de avenidas

ESTACION CLIMATOLOGICA . Sitio donde se ubican instrumentos que se utilizan para la medición de fenómenos atmosféricos.

ESTACION HIDROMETRICA . Lugar en donde se practican mediciones para conocer el régimen de una corriente.

EROSION. Desgaste de la superficie terrestre producido por agentes naturales.

FUENTE. Brotamiento o afloramiento del agua subterránea.

GASTO DE UNA CORRIENTE. Volumen de agua que pasa por un sitio y sección de la corriente en un momento dado.

LAMINA DE LLUVIA. Cantidad de lluvia acumulada por unidad de área en un tiempo determinado.

LONGITUD DEL RIO. Distancia media desde el origen del río hasta su desembocadura.

NIVEL FREÁTICO. Nivel superior que tiene la superficie de las aguas subterráneas.

OBRA FLUVIAL. Construcción que se realiza en el lecho o en las márgenes de un río para rectificarlo, encausarlo, confinarlo, controlarlo o evitar su desbordamiento.

PENDIENTE. Línea de mayor inclinación de un plano o declive de flancos de un cerro o montaña.

PERIODO DE RETORNO. Intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud dada "Y" puede ser igualada o excedida por lo menos una vez en promedio.

PLANIMETRO. Aparato usado para la medición de áreas en mapas.

PRECIPITACION ATMOSFERICA. Caída de agua, en cualquiera de sus formas sobre la superficie terrestre.

RED FLUVIAL. Conjunto de aguas corrientes superficiales que con
fluyen en una corriente principal.

REGIMEN DE Es el comportamiento continuo del escurrimiento
ESCURRIMIENTO. en un sitio dado, durante un lapso que puede
ser el año.

REGION HIDROLOGICA. Conjunto de cuencas en la que se ha dividi
do una zona o país.

TIEMPO DE . Tiempo que tarda en llegar la primera gota de
CONCENTRACION lluvia que cae en el punto más distante del área
de drenaje hasta la descarga de la cuenca.

VASO. Receptáculo o depósito natural o artificial que contiene
o puede contener agua.

VOLUMEN ESCURRIDO. Cantidad de agua que pasa por una sección o
tramo de un río.

VOLUMEN LLOVIDO. Cantidad de agua que se precipita en una re-
gión hidrográfica.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Martínez Luna Victor. Importancia de la Morfometría Fluvial en el estudio de Cuencas Hidrológicas, Sociedad de Geografía y Estadística. Tomo CXXX. México 1982. pág.125
- (2) Campos Aranda D.F. Procesos del Ciclo Hidrológico. Volumen 1. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1988. pág. 2-5
- (3) Campos Aranda D.F. Ibidem. pág. 2-9 y 2-10.
- (4) Campos Aranda D.F. Ibidem. pág. 2-19.
- (5) Campos Aranda D.F. Ibidem. pág. 2-12 .
- (6) Campos Aranda D.F. Ibidem. pág. 2-15.
- (7) Aparicio Mijares Fco. J. Apuntes de Hidrología de Superficie, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1987. pág.152-154.
- (8) Springall G. Rolando. Hidrología I, UNAM, México 1969, pág. 81-82.
- (9) Springall G. Rolando Ibidem. pág.133
- (10) Aparicio Mijares Fco. J. Ibidem. pág. 201.
- (11) Aparicio Mijares Fco. J. Ibidem. pág. 205.
- (12) Springall G. Rolando. Drenaje en Cuencas Pequeñas. Instituto de Ingeniería. UNAM. México 1969. pág. 6

- (13) SARH. Metodología usada en la determinación de la Avenida de diseño para la obra de excedencias de las Presa de México . 1984. pág. 2,
- (14) Díaz Herrera Pedro. Instructivo de Hidrología para determinar la Avenida Máxima Ordinaria en México. SARH. Subdirección de Seguridad de Presas. México 1987. pág. 10-11.
- (15) Díaz Herrera Pedro. Ibidem. pág. 61-71.
- (16) Díaz Herrera Pedro. Ibidem. pág. 72-77.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta Godinez Fco. Modelo para el cálculo de Avenidas Máximas en Cuencas pequeñas no aforadas. Publicación técnica, Vol. IV, Núm. 4 SARH México, 1984.
- Andrew L. Simon. Hidrologfa Práctica. Ed. Limusa. México 1983.
- Aparicio Mijares Fco. Apuntes de Hidrologfa. Facultad de Ingeniería. UNAM. México 1984.
- Departamento de Sanidad del Estado de New York. Manual de tratamiento de aguas. Ed. Limusa. México 1983.
- Derrau Max. Geomorfologfa. Ed. Ariel. Barcelona España. 1980.
- Díaz Herrera Pedro. Instructivo de Hidrologfa para determinar - - Avenida Máxima Ordinaria. SARH. Subdirección de Seguridad de Presas. México 1987.
- Domínguez M. R. Manual de Hidráulica Urbana. Tomo I y II. Departamento del Distrito Federal. México 1981.
- García Enriqueta. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Instituto de Geografía UNAM. México 1973.
- Montes de Oca. Topografía. Ed. RSISA. México 1980.

- Martínez Luna Víctor. Importancia de la Morfología Fluvial - en el estudio de Cuencas Hidrológicas. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Tomo CXXX. México 1982.
- Rojas Soriano Raúl. Gua para realizar investigaciones sociales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. UNAM. México 1982.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Informe Técnico relativo a la determinación de la Creciente Máxima Ordinaria de una Corriente. Subdirección de Hidrología, México 1984.
- Metodología usada en la determinación de la Avenida de Diseño de Exedencias de las Presas de México. Subdirección de Hidrología, México 1984.
- Principales medidas para defensa contra inundaciones. Dirección General de Estudios. México 1984.
- Boletines Hidrológicos de la Comisión de Aguas del Valle de México.
- Hidrología de la Cuenca del Valle de México, Tomo I. Comisión Hidrológica del Valle de México. México 1964.

Springall Rolando. Drenaje en Cuencas pequeñas. Series del -
Instituto de Ingenierfa, N^o 149. UNAM. -
México 1969.

----- Hidrologfa Primera Parte. Instituto de Ingenierfa,
UNAM. México 1977.

Material Cartográfico:

- Secretaría de Programación y Presupuesto, Cartas Topográficas Geológicas, Edafológicas, Uso del Suelo y Uso Potencial. Escala 1:50 000, Clave E14-A39 y E14-A49, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F., 1974-1983.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales y Subterráneas. Escala 1:250 000, Clave E14-2, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F., 1983.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. Carta Fisiográfica (centro), Escala 1: 1 000 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Carta Distrito Federal de Frontera Agrícola y Capacidad de Uso del Suelo. Escala 1:250 000. Departamento de Cartografía Sinóptica, 1982.
- Instituto de Geografía. Carta Climática. Escala 1: 500 000 Zona centro. UNAM.
- Departamento del Distrito Federal. Carta Urbana, Escala 1: 10 000. Claves:
 - E14 A49-43
 - E14 A49-42
 - E14 A49-52
 - E14 A49-53
 - E14 A49-33
 - E14 A49-32
 - E14 A49-23
 - E14 A49-22
 - E14 A49-13