

613



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAMPUS IZTACALA

**“Caracterización hidrológica de la subcuenca
baja del Río Zapotitlán, Puebla.”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO
P R E S E N T A
DULCE MARÍA CONCEPCIÓN NERI GÁMEZ

DIRECTOR DE TESIS M. en C. DANIEL J. MUÑOZ INIESTRA





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*En memoria de mi papá, el Dr. José Neri González.
Con todo mi amor y agradecimiento,
por haber sido un magnífico PADRE
y un increíble ser humano.*

*A mi mamá, María Concepción (Conchita).
Gracias, por tu amor y por todo lo que me has dado.*

A Carlos (Niño).

A mis hermanos y amigos.

Pero sobre todo, Gracias a Dios.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
2.1 Ubicación Geográfica.....	9
2.2 Clima.....	9
2.3 Fisiografía.....	9
2.4 Geología.....	11
2.5 Suelos.....	11
2.6 Hidrología.....	11
2.7 Vegetación.....	12
2.8 Importancia ecológica y socioeconómica.....	12
3. ANTECEDENTES.....	14
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 Objetivo General.....	17
4.2 Objetivos Particulares.....	17
5. METODOLOGÍA.....	18
5.1 Fase Descriptiva.....	18
5.1.1 Delimitación y reconocimiento del área de estudio.....	18
5.1.2 Regionalización y Caracterización hidrológica de la subcuenca baja.....	18
5.2 Fase de Verificación en campo.....	19
5.3 Fase de Caracterización Climática.....	19
5.3.1 Sistema de Köppen modificado por Enriqueta García.....	20
5.3.2 Sistema de Thornthwaite.....	20
5.3.3 Período de retorno de los máximos anuales de precipitación.....	20
5.4 Fase de análisis y síntesis de la información.....	20
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	22
6.1 Regionalización y caracterización hidrológica.....	22
6.1.1 Características morfométricas.....	26
6.1.2 Características de la red de drenaje.....	33
6.1.3 Uso de suelo.....	36
6.2 Descripción físico – hidrológica de cada microcuenca.....	38
6.3 Caracterización climática.....	51
6.3.1 Clasificación climática por el sistema de Köppen modificado por Enriqueta García.....	53
6.3.2 Clasificación climática por el sistema de Thornthwaite.....	55
6.3.3 Período de retorno (Tr) de las lluvias máximas mensuales.....	58
7. CONCLUSIONES.....	62
8. SUGERENCIAS.....	64
9. ANEXOS.....	65

9.1 Diagnóstico morfométrico de la subcuenca.....	65
9.1.1 Área.....	65
9.1.2 Forma.....	65
9.1.3 Índice de la forma (I_f).....	65
9.1.4 Coeficiente de compacidad (C_c).....	66
9.1.5 Relación de circularidad (R_c).....	66
9.1.6 Proporción de elongación (P_e).....	66
9.1.7 Curva Hipsométrica.....	67
9.1.8 Elevación media y mediana de la subcuenca.....	68
9.1.9 Pendiente del cauce principal.....	69
9.1.10 Tipo de relieve con base en el área.....	69
9.1.11 Tipo de relieve del paisaje.....	69
9.1.12 Pendiente de la subcuenca.....	70
9.2 Diagnóstico morfométrico de la red de drenaje.....	71
9.2.1 Perfil y longitud del cauce principal.....	71
9.2.2 Frecuencia de corrientes.....	72
9.2.3 Densidad de drenaje.....	72
9.2.4 Relación de bifurcación.....	72
9.2.5 Textura entre las corrientes de primer orden.....	73
9.3 Elaboración del mapa de uso de suelo.....	73
9.4 Diagnóstico climático.....	74
9.4.1 Método racional deductivo.....	74
9.4.2 Prueba estadística de las secuencias.....	77
9.4.3 Coeficiente de variación (C_v).....	80
9.4.4 Serie anual de máximos.....	80
10. BIBLIOGRAFÍA.....	82

CUADROS PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO – HIDROLÓGICA

Cuadro 1. Regionalización hidrológica (criterio FAO, 1996).....	22
Cuadro 2. Área y Perímetro.....	26
Cuadro 3. Índices morfométricos.....	27
Cuadro 4. Interpretación de los Índices morfométricos.....	27
Cuadro 5. Características generales de la subcuenca.....	29
Cuadro 6. Trayecto del gradiente altitudinal, que atraviesa el Río Zapotitlán.....	30
Cuadro 7. Clasificación de la pendiente y el relieve.....	31
Cuadro 8. Descripción morfológica general, de cada tributario principal (Nivel I-Rosgen, 1994).....	32
Cuadro 9. Clasificación de la pendiente y forma de relieve.....	32
Cuadro 10. Morfometría de la red de drenaje, para cada microcuenca.....	33
Cuadro 11. Orden de la corriente principal y relación de bifurcación.....	34
Cuadro 12. Simbología del uso de suelo.....	36

CUADROS PARA LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Cuadro 1. Análisis probabilístico por el Cv de la temperatura y precipitación de 30 años.....	52
Cuadro 2. Temperatura y Precipitación media anual de 30 años.....	53
Cuadro 3. Serie anual de lluvias máximas mensuales en Zapotitlán.....	59
Cuadro 4. Probabilidad de excedencia y no excedencia de la serie anual de lluvias máximas Mensuales.....	60

GRÁFICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO - HIDROLÓGICA

Gráfica 1. Curva Hipsométrica y estimación de la elevación mediana de la subcuenca de Zapotitlán.....	28
Gráfica 2. Perfil del cauce principal (Río Zapotitlán).....	30
Gráfica 3. Textura de avenamiento entre los tributarios de primer orden de las microcuenca <25km ²	45
Gráfica 4. Textura de avenamiento entre los tributarios de primer orden de las microcuenca >25km ²	45
Gráfica 5. Comportamiento de la estructura geológica de las microcuencas <25km ²	46
Gráfica 6. Comportamiento de la estructura geológica de las microcuencas >25km ²	47
Gráfica 7. Régimen del caudal de las microcuencas <25km ²	49
Gráfica 8. Régimen del caudal de las microcuencas >25km ²	50

GRÁFICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Gráfica 1. Temperatura media mensual de máximos y mínimos (30 años).....	52
Gráfica 2. Precipitación total mensual de máximos y mínimos (30 años).....	53
Gráfica 3. Precipitación total anual (30 años) y Temperatura media anual (30 años).....	54
Gráfica 4. Climograma anual (Sistema de Thornthwaite).....	57
Gráfica 5. Climograma mensual (Sistema de Thornthwaite).....	57
Gráfica 6. Índices climáticos anuales (Sistema de Thornthwaite).....	58
Gráfica 7. Máximos anuales de precipitación (1969-1998).....	61
Gráfica 8. Número de registros, para los meses con máximos anuales de precipitación.....	61

FIGURAS

Figura 1. Cuenca de 4° orden, formada por microcuencas de ordenes inferiores (Skinner, <i>et al.</i> , 1987).....	3
Figura 2. Influencia de la geología sobre el tipo de relieve (Longwell, <i>et. al.</i> , 1991).....	4
Figura 3. Ciclo hidrológico del agua (Campos, 1992).....	4
Figura 4. Evolución de una región y de su río (Blij, 1993).....	6
Figura 5. Pedimento y Pediplano (Leet, 1993).....	7
Figura 6. Ubicación geográfica y jerarquía hidrológica del área de estudio.....	10
Figura 7. Mapa del relieve de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán.....	23
Figura 8. Mapa de la subcuenca alta y baja de Zapotitlán.....	24

Figura 9. Mapa de las microcuencas de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán.....	25
Figura 10. Mapa del patrón de drenaje superficial de la subcuenca baja.....	35
Figura 11. Mapa del uso de suelo de la subcuenca baja.....	37
Figura 12. Clasificación de los elementos de pendiente de un paisaje (Troeh, 1965).	69

TABLAS

Tabla 1. Escalas jerárquicas de regionalización hidrológica (SARH, 1988; FAO, 1996).....	2
Tabla 2. Tipos de perfil para diversas pendientes (Troeh, 1965).....	33
Tabla 3. Clasificación propuesta para el tamaño de la cuenca (Campos, 1992).....	65
Tabla 4. Frecuencia de las intersecciones, sobre las curvas de nivel.....	67
Tabla 5. Valores del área de la subcuenca de Zapotitlán, para graficar la Curva Hipsométrica.....	68
Tabla 6. Pendiente con respecto al cauce principal (Heras, 19765).....	68
Tabla 7. Relieve con base en el área (Seyhan, 1975).....	69
Tabla 8. Clasificación de la pendiente de la subcuenca de Zapotitlán, tomada en varios ejes (Storie, 1970).....	71
Tabla 9. Valores para obtener la pendiente de la subcuenca.....	71
Tabla 10. Valores de elevación por distancia para graficar el perfil del cauce principal.....	72
Tabla 11. Relación de bifurcación.....	72
Tabla 12. Relación entre el área y la relación de bifurcación (Campos, 1992).....	73
Tabla 13. Datos de precipitación mensual, obtenidos por el método racional deductivo.....	75
Tabla 14. Rango del número de secuencia (u) para un registro homogéneo.....	77
Tabla 15. Aplicación de la prueba estadística de las secuencias, registro de lluvias anuales..	77
Tabla 16. Precipitación total mensual.....	78
Tabla 17. Temperatura media mensual.....	79
Tabla 18. Sistema de clasificación climática de Thornthwaite.....	81

1. INTRODUCCIÓN

La Hidrología es la ciencia natural que estudia todo lo concerniente al agua; su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre; sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos (Aparicio, 1994).

El agua es en la *Caracterización Hidrológica*, la parte fundamental en el estudio y manejo de las cuencas (SARH, 1988). Describir y analizar las características hidrológicas de una determinada región, consiste en entender la relación que existe, entre el agua y los elementos físicos y bióticos de una cuenca. Así, que los recursos hidrológicos, calidad y cantidad de agua, en una cuenca dependen directamente de la topografía, morfometría, pendientes, diferencias de dureza de la roca, estructura de la roca madre, textura del suelo, drenaje, vegetación y clima (Strandberg, 1975; Claver, 1982, Maderey, 1992).

La cuenca Hidrográfica es un área geográfica cuyas aguas se escurren por un sistema de corrientes (FAO, 1996). Se encuentra delimitada topográficamente por parteaguas¹ y desagua mediante un sistema fluvial, es decir, es la superficie total de tierras que desagua en un cierto punto de un curso de agua o río. Es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como unidad físico - biológica y también socio - económico - política, para la planificación y ordenación de los recursos naturales (FAO, 1992).

México posee 314 cuencas hidrográficas las cuales se agrupan en 37 Regiones Hidrológicas (CNA, 1994 citado por INEGI, 1998). La Región Hidrológica, es una unidad agrupada a partir de cierta uniformidad en el tipo de relieve y escurrimientos, siendo la red de drenaje el elemento principal en la subdivisión del paisaje.

Una región se subdivide en Cuencas Fluviales, y a su vez en Subcuencas Fluviales, Cuencas Hidrográficas, Subcuencas Hidrográficas y Microcuencas; todas áreas territoriales, en donde el agua de lluvia es captada y desalojada, o depositada en un almacenamiento natural, por un sistema de drenaje definido; todas dirigen sus tributarios² a un cauce principal y todas se encuentran delimitadas por rasgos orográficos (SARH, 1988; FAO, 1992).

1. Línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrológica, que separa a las adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en el sistema de cauces que fluyen hacia la salida de una cuenca (Campos, 1992)

2. Curso de agua que desemboca a un río principal = Arroyo = Afluente (SARH, 1988).

Se recomienda adoptar en los estudios hidrológicos, escalas adecuadas para cada subdivisión, de ésta jerarquía, de acuerdo al grado de complejidad; porque con una escala demasiado pequeña aumenta mucho el trabajo, y con una demasiado grande se tiende a perder exactitud (FAO, 1996), (véase Tabla 1).

FAO 1996	SARH 1988	Escala de Trabajo
Región Hidrológica	Región Hidrológica	1:1x10 ⁶ - 1:500,000
Cuenca Fluvial	Cuenca	1:500,000 - 1:250,000
Subcuenca Fluvial	Subcuenca	1:250,000 - 1:100,000
Cuenca Hidrográfica	Subcuenca Tributaria	1:100,000 - 1:50,000
Subcuenca Hidrográfica	Subcuenca Específica	1:50,000 - 1:20,000
Microcuenca	Microcuenca	1:20,000

Tabla 1. Escalas Jerárquicas de Regionalización Hidrológica (SARH, 1988, FAO, 1996).

La microcuenca es la mínima unidad territorial de drenaje, y es solución para realizar en ella, métodos de conservación del agua. Pero para encontrar que microcuencas, cumplen con los requisitos para estos métodos; previamente, se necesitan realizar un estudio de las características morfofísicas y funcionales que imperan en un grupo de microcuencas que conforman a una misma subcuenca; las características que van a compartir son clima, geomorfología, hidrología del suelo y vegetación; pero también van a tener características, que las van a diferenciar unas de otras, en cuanto a sus procesos hidrológicos, como el comportamiento del escurrimiento, influenciado por la forma, tamaño, relieve, pendiente, densidad y frecuencia de drenaje, relación de bifurcación y orden de las corrientes (Gutiérrez, 1978; Cardoza *et al.*, 1989).

El orden de las corrientes refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca, es decir una corriente de primer orden es aquella que no tiene ningún tributario. Una corriente de segundo orden, es cuando dos corrientes de primer orden se juntan. Una corriente de tercer orden cuando dos corrientes de segundo orden se juntan; y así sucesivamente (Claver, 1982), (véase Figura 1).

La red de drenaje es una característica importante en cualquier cuenca, subcuenca o microcuenca, consiste en el número y trayectoria de los escurrimientos, y su importancia radica en conocer la eficiencia del movimiento del agua a lo largo de las corrientes, desde las cabeceras hasta las desembocaduras (Strandberg, 1975).

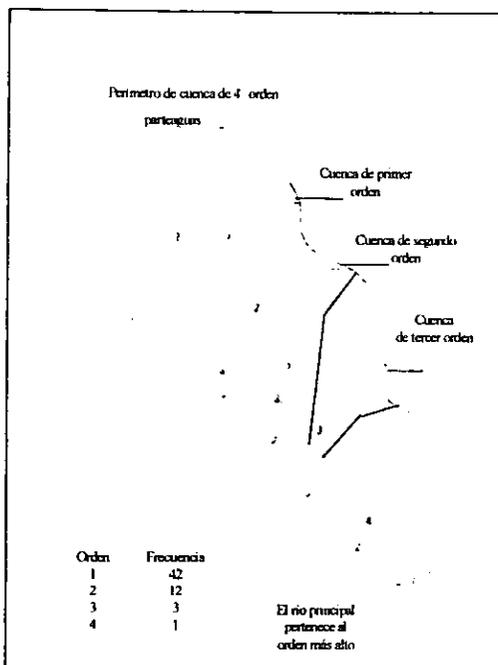


Figura 1. Cuenca de 4º orden, formada por microcuencas de órdenes inferiores (Skinner *et al.*, 1987).

Los escurrimientos forman parte de un drenaje superficial con ciertas características debidas a las pendientes del terreno, diferencias de dureza de la roca madre, permeabilidad del suelo, relieve, vegetación y condiciones climáticas del lugar, (Longwell *et al.*, 1991).

Las seis principales formas de drenaje superficial son la dendrítica, enrejado, radial, paralela, angular y rectangular, toman su forma por efecto de estructuras geológicas como fallas, fracturas y plegamientos y de acuerdo a la pendiente del terreno, los estratos plegados determinan la ubicación de las corrientes; las cuales son capaces de atravesar prominencias o bordos formados por rocas resistentes y con mayor razón zonas de roca débil (Strandberg, 1975; Longwell *et al.*, 1991), (véase Figura 2).

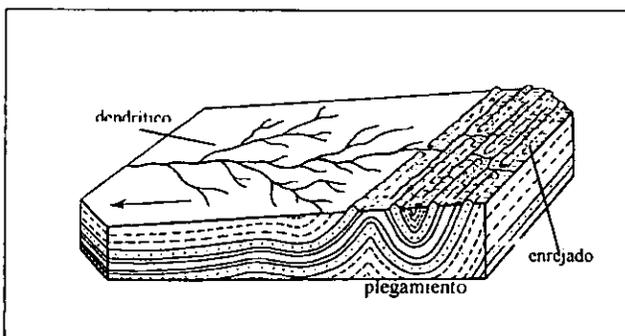


Figura 2. Influencia de la geología sobre el tipo drenaje (Longwell *et al.*, 1991)

Por otra lado, el clima es el factor principal que dirige cada uno de los procesos dentro de una cuenca, por medio de él se determina que cantidad de lluvia cae y que cantidad se evapora, al mismo tiempo el clima regula los procesos de intemperismo químico y físico, determinar los tipos de suelo y con ello los tipos de vegetación, factores que cumplen la función de regular el movimiento del agua en el Ciclo Hidrológico, el cual se compone por la capacidad de infiltración, percolación, escorrentía y hasta evapotranspiración de la cubierta vegetal. (Longwell, *et al.*, 1991), (véase Figura 3).

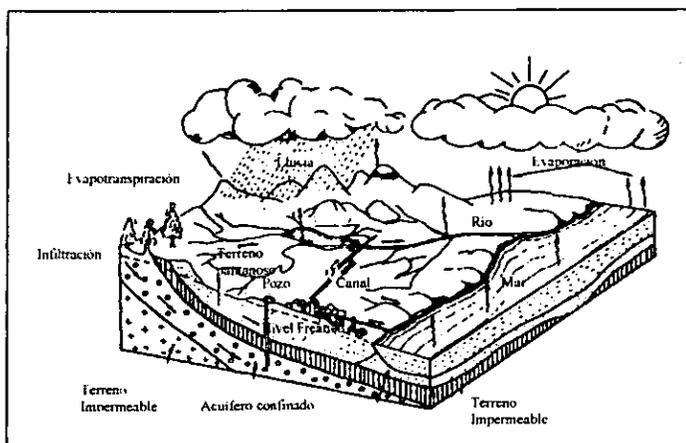


Figura 3. Ciclo Hidrológico del Agua (Campos, 1992).

Otro elemento que sin ser físico, juega un papel determinante en la dinámica hidrológica es la vegetación, resultado de toda una serie de interacciones geomorfológicas, climáticas, edáficas y bióticas imperantes en un punto específico de la tierra. La vegetación es uno de los factores más importante en afectar los tipos de escurrimientos, desde zonas tropicales donde es mayor la protección del suelo; hasta en lugares áridos o semiáridos donde la cobertura vegetal es menor (Wisler, 1959).

Conociendo las condiciones generales del uso de suelo, los tipos de cubierta vegetal y la distribución de especies particulares, identificando además, las formas del terreno, la densidad de caminos y el tipo de escurrimientos, se podrá distinguir el nivel de perturbación, para clasificar a las microcuencas por grados de prioridad, protección y desarrollo; para proponer posibles proyectos financiados (FAO, 1996).

Las cuencas en cuanto a sus escurrimientos superficiales, se subdividen en **Arreicas** por pertenecer a regiones sin algún tipo de esorrentia; **Exorreicas** cuya salida de agua es hacia el mar cuencas; y cuencas **Endorreicas** las cuales aunque poseen algún curso de agua sus emisarios nunca llegan directamente al mar (Derruau, 1978).

El concepto de “ciclo de erosión” aplicado al “ciclo del valle de un río”³ se lleva acabo de la siguiente manera.

En el valle de una **corriente joven** se presenta una gran actividad y erosión del cauce, en ésta etapa las laderas del valle llegan directamente a las orillas del río y adoptan un perfil transversal en forma de V, no existe planicie de inundación⁴, o sólo una muy angosta, el gradiente es muy pronunciado y los tributarios tienden a ser pocos y cortos (Leet, 1993).

En el valle de una **corriente madura**, la velocidad de erosión hacia abajo es más lenta, pero en cambio el ensanchamiento se realiza con mayor rapidez a medida que avanza la corriente, el gradiente es más suave y el valle adopta un perfil transversal en forma de U; comienza a formarse la planicie de inundación y la corriente comienza a crear meandros⁵ a través de la planicie (Leet, *op. cit.*).

3 Referente a un cauce con sus paredes laterales. (Longwell, *et al.* 1991).

4 Depósitos de sedimentos provenientes por erosión de las paredes laterales del valle, o por sedimentos arrastrados por la corriente del río (Longwell, *et al.*, *op. cit.*).

5. Deriva del griego *maiandros*, “curva o recodo”. Sinuoso = es una curva mucho más suave (Leet, 1993)

En el valle de una **corriente senil**, el ensanchamiento del valle, aunque lento, predomina el corte hacia abajo, la planicie de inundación es más ancha que la faja de meandros. A veces encontramos que un río alcanza las diferentes etapas de desarrollo, en diversos puntos a lo largo de su curso (Leet, *op. cit.*), (véase Figura 4).

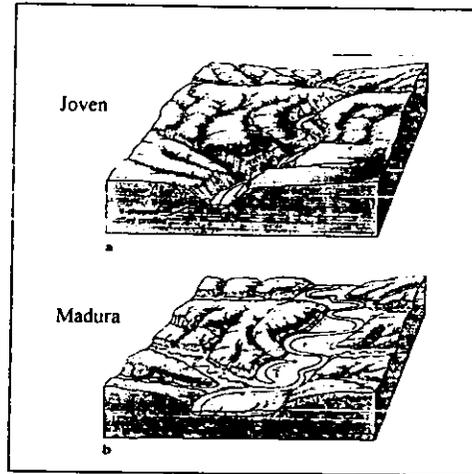


Figura 4. Evolución de una Región y de su Río (Blij, 1993).

En el “ciclo de erosión” aplicado a “la evolución de una región” el factor de control es el nivel-base⁶. Durante la **Etapa Juvenil** de una región sus corrientes cortan rápidamente hacia abajo y la diferencia de elevación entre el fondo de los valles y la cima de los cerros (relieve⁷) aumenta velozmente; las corrientes no se han extendido todavía en toda la masa terrestre y aún se encuentran separadas por amplios parteaguas (Blij, 1993).

La **Etapa de Madurez** de una región, comienza cuando las corrientes disectan el terreno más profundamente, haciendo que los parteaguas sean más angostos, hasta que la mayor parte de la superficie forma un declive; es aquí cuando las corrientes gravan la mayor variedad de rasgos terrestres, en las rocas de diferente resistencia y estructura (Blij, *op. cit.*).

6. De una corriente es el punto más bajo al cual esa corriente puede erosionar su cauce, puede estar controlado por lagos, capas de rocas resistentes y por el nivel de la corriente principal (Leet, *op. cit.*)

7. Diferencia de altitud entre las partes altas y las partes bajas de una superficie del terreno (Claver, 1982).

En la **Etapa de Senectud** de una región las corrientes vagan libremente a través de un valle más ancho, los parteaguas son ahora más bajos y ampliamente espaciados (Blij, *op. cit.*).

En los climas áridos y semiáridos el producto final de la erosión es el pedimento⁸, de manera que las caras inclinadas de los bloques elevados se van desgastando, de modo que las laderas se modelan con perfiles cóncavos, producidos por el trabajo del agua corriente. En cambio el peniplano⁹ de los climas húmedos presenta como producto final, las formas convexas en sus laderas. (Leet, 1993), (véase Figura 5)

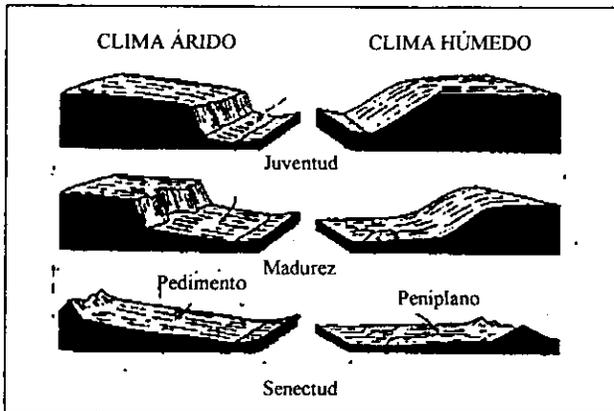


Figura 5. Pedimento y Pediplano (Leet, 1993).

Así por todo lo anterior en el estudio de las corrientes fluviales, la importancia desde el punto de vista de la geología es que junto con el desgaste de masas son los principales escultores del modelado terrestre, son los principales agentes tanto degradadores, como también formadores de suelos (suelos aluviales¹⁰); además realizan depósitos de sedimentos que llegan posteriormente a convertirse en rocas sedimentarias (Longwell *et al.*, 1991).

8. Producto final del ciclo de erosión en una región árida o semiárida, de una cadena montañosa solamente y sin llegar a desaparecer se van desgastados sus laderas corriente abajo (Blij, 1993).

9. Producto final del ciclo de erosión en una región húmeda, derivado del latín *paene* "casi" superficie de terreno gastada por las corrientes y por el desgaste de masa hasta alcanzar el nivel más bajo (Blij, *op. cit.*).

10. Son formados por sedimentos depositados por las corrientes fluviales en medios terrestres (Longwell, *et al.*, *op. cit.*).

Y desde el punto de vista económico, las corrientes son importantes porque:

- Constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua de la población.
- Representan una fuente de energía eléctrica.
- El aluvión aledaño a la corriente, es generalmente un receptáculo donde se almacena agua, misma que se libera gradual y lentamente.
- Cuando se desbordan las corrientes, estas pueden causar daños severos, pero también beneficios a la población y a los sistemas productivos.
- Los escurrimientos descontrolados, representan la causa principal de la pérdida de suelos por efecto de erosión (Longwell *et al.*, *op. cit.*).

Por lo tanto la importancia de éste trabajo, para la Subcuenca de Zapotitlán de las Salinas, será el definir con ayuda de los factores físicos, que microcuencas son las candidatas para realizar planes de manejo del agua, y manejo y conservación de los recursos naturales de la zona, en beneficio de la población.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación geográfica

La Subcuenca Hidrográfica de Zapotitlán forma parte del Valle de Tehuacán, este último localizado en la región sureste del estado de Puebla; la Subcuenca de Zapotitlán se ubica entre los 97°24' y 97°39' Longitud Oeste y entre los 18°12' y 18°25' Latitud Norte, con un área de 396 km². Como toda cuenca se subdivide a su vez en Subcuenca Alta y Subcuenca Baja, ésta última es el Área de Estudio del presente trabajo y dentro de la cual se establece el municipio de Zapotitlán de las Salinas; la subcuenca baja se ubica entre las coordenadas 97°24' y 97°35' Longitud Oeste y 18°12' y 18°23' Latitud Norte, con un área de 268 km², limita al Norte con los cerros Pajarito y Chacateca, al Este con las sierras de Miahuatepec y Atzingo, al Sur con el cerro Mesa Buenavista y al Oeste con el cerro Xintle y la Mesa, éstos últimos parteaguas entre la Subcuenca alta (Cartas Topográficas 1984 a y b), (véase Figura 6).

2.2 Clima

Como anteriormente se mencionó la subcuenca de Zapotitlán forma parte del valle de Tehuacán, el cual determina su clima en gran parte por la Sierra Zongólica perteneciente a la Sierra Madre Oriental localizada hacia Noreste; debido a ella se detienen los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, al formar con sus crestas de hasta 2,600 m una sombra de lluvias sobre el valle (Zavala, 1980). El clima de Zapotitlán de las Salinas corresponde de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por (García, 1988) a un BSohw(e)gw", clima seco con régimen de lluvias de verano, la temperatura media anual es de 21°C, presentándose una canícula bien definida a mitad del período de lluvias, con una precipitación media anual de 400 a 450 mm. (Zavala, 1982).

2.3 Fisiografía

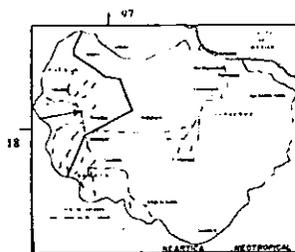
La subcuenca de Zapotitlán se encuentra aproximadamente entre los 1000 y 1800 msnm (Fuentes, 1970); queda comprendida en la porción Norte de la Provincia del Valle de Tehuacán, que forma parte de la Cuenca Alta del Río Papaloapan; la subcuenca presenta en general un relieve montañoso que declina hacia el centro (Secretaría de Gobernación, 1988.); la subcuenca está definida por laderas y taludes de cerros como el Pajarito, el Calvario y el Chacateca que se encuentra al Norte; Cerro Corral de Piedra al Sur y el Cerro la Mesa al Oeste (Zavala, 1980).



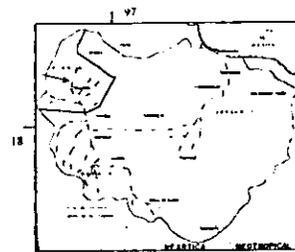
1. Cuenca Fluvial del Papaloapan



2. Cuencas Alta y Baja del Papaloapan



3. Subcuenca Fluvial del Rio Salado



4. Cuenca Hidrográfica del Rio Tehuacán



5. Subcuenca Hidrográfica del Rio Zapotitlán

Figura 6 Ubicación geográfica y Jerarquía Hidrológica del área de estudio

2.4 Geología

La historia geológica de la Cuenca de acuerdo a (Muelleried, 1933 citado por García, 1991). puede resumirse en los cuatro acontecimientos siguientes:

1. La formación del “Complejo Basal” que data del paleozoico jurásico.
2. Durante el principio del cretáceo inferior, la cuenca sufre una inmersión formándose el Portal de Balsas.

3. A finales del cretácico inferior y terminando el terciario, una serie de plegamientos forman las principales sierras de la cuenca, como las formaciones San Juan Raya, Zapotitlán y Miahuatepec (Calderon , 1956).

Con el último evento tectónico (formación Ciciapa) pierde su conexión con la Depresión del Balsas, dando como resultado una cuenca endorreica.

4. A principios del cuaternario, el Río Santo Domingo, afluente del Río Papaloapan, captura por erosión remontante al Río Salado y sus tributarios, entre ellos el Río Zapotitlán, drenándose de esta forma hacia la Cuenca del Papaloapan.

2.5 Suelos

Han sido pocos los estudios en cuanto al tipo de suelos presentes en la zona, pero de manera general, se muestra la presencia en el valle de los siguientes tipos de suelos: hacia las partes bajas a lo largo del Río Zapotitlán donde se acumula el aluvión predominan las Rendzinas y en segundo plano el Vertisol pélico y el Regosol calcárico con una clase textural media (\approx en los 30 cm de superficie del suelo); hacia las partes Norte, Sur y Este, es decir desde los parteaguas hacia el centro de la Subcuenca Baja predominan los Litosoles y en segunda instancia el Regosol eutrico y Rendzinas, con una clase textural media; por último en dirección al Oeste de la Subcuenca Baja predominan el Regosol eutrico, seguido de Litosoles y Rendzinas con una clase textural gruesa (Carta Edafológica, 1983).

2.6 Hidrología

El Valle de Zapotitlán pertenece en su mayor parte a la Región Hidrológica (Rh 28) de la Cuenca Alta del Río Papaloapan (A); particularmente a la Subcuenca Fluvial del Río Salado (e), (Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1983). El Río Zapotitlán se forma hacia el Oeste de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán de la parte alta, viaja a la subcuenca baja en dirección Este, pasando por el poblado de Zapotitlán de las Salinas, y al salir de la subcuenca se une al Río Tehuacán en el valle del mismo nombre, para formar el Río Salado, uno de los principales afluentes del Río Papaloapan (Secretaría de Gobernación de Puebla, 1988).

2.7 Vegetación

Sobre las relaciones fitogeográficas en el Valle de Zapotitlán la vegetación se considera como un relictó del matorral xerófilo que alguna vez imperó en todo el Valle de Tehuacán, destacando que el 29.1% del total de las especies encontradas corresponde a especies endémicas, lo que concuerda con el 28% de endemismos encontrado por Rzedowski para las zonas áridas de México (citado por Zavala, 1980).

La Subcuenca de Zapotitlán presenta los siguientes grupos fisonómicos, el matorral espinoso, no mayor de 2 m de altura, ocupa un poco más de la mitad de la extensión total del valle le predominan las familias de *Caesalpiniaceae* y *Mimosaceae*. Las Tetecheras se establecen en las numerosas colinas que existen dentro del valle, son plantas altas crasas de 3 a 11 m de altura, correspondiente a la catácea columnar *Neobuxbaumia tetetzo*. El Cardonal ocupa poco menos del 15 % del área y corresponde a *Cephalocereus columna trajani* La selva baja caducifolia que al igual que el matorral espinoso presenta además a la familia *Fabaceae*. La selva baja espinosa perennifolia caracterizada por el predominio de *Prosopis laevigata*, constituyendo los llamados mezquiales y asociaciones de tetechera – Izotal y tetechera - cardonal (Zavala, 1982, Osorio *et al.*, 1996).

2.8 Importancia ecológica y socioeconómica del área de estudio.

Con base en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1997) en su artículo 58 y fracciones; por el compromiso asumido por la SEMARNAP en el Programa del Medio Ambiente 1995-2000 y en el Programa de Áreas Naturales Protegidas 1995-2000, se dio a conocer el interés del gobierno a la población mexicana, en el manejo de estrategias y metas para crear áreas naturales protegidas; entre ellas la gran región ecogeográfica conocida como Tehuacán y Cuicatlán, con el propósito de constituir una reserva de la Biosfera.

El municipio de Zapotitlán de la Salinas, se ubica dentro de la reserva y es una de las áreas piloto para nuevos sistemas de atención y administración; se encuentra en el estado de Puebla y se considera dentro de la categoría APFF (Área de Protección de Flora y Fauna), predominando un ecosistema de tipo matorral - xerófilo.

Dentro de la Reserva se plantea la Conservación y el Desarrollo Sustentable del área, por lo que se busca ordenar las actividades productivas, agrícolas, ganaderas y forestales, además la posibilidad de acceder a recursos económicos para programas de conservación ecológica, revertir procesos de erosión, protegiendo y mejorando los recursos forestales y los *recursos hidrológicos* que alimentan al Valle de Tehuacán.

Así como preservar los restos de un gran intercambio cultural entre la Mesoamérica Meridional y Septentrional (SEMARNAP, 1995; SEMARNAP, 1996, INE-SEMARNAP, 1997).

Existen instituciones que han venido trabajando en la zona, en los años recientes, con aspectos relacionados a los recursos naturales y a los estudios ecológicos de la reserva, tal es el caso de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO), localizada en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, de la UNAM, en donde se llevan a cabo proyectos para analizar la degradación de sitios localizados en la terrazas aluviales, a lo largo del río principal en la subcuenca baja de Zapotitlán.

3. ANTECEDENTES

Las metodologías para el estudio de cuencas hidrológicas son muy variadas, ya que van, desde la utilización de métodos tradicionales de toma de datos directamente en campo, como el trabajo de López (1991), quien llevó a cabo un levantamiento semidetallado de suelos de la Cuenca Baja del Río Pilón-Casillas NL.; encontró en la llanura aluvial actual del río, toda una serie de Terrazas Aluviales¹ que se forman por la acumulación del material transportado y depositado por el río, dominando en ellas las fases gravosas y pedregosas, con vegetación que está bajo la dinámica del río. También encontró valles erosionados, cauces y meandros abandonados, rellenos por materiales de acarreo.

Otro trabajo de campo es el de Espinoza y colaboradores (1994) que siguiendo la metodología de (Rosgen 1994) realizaron una clasificación morfológica de los canales de la cuenca del arroyo El Carrizal, en Tapalpa, Jalisco; describiendo características de pendiente, ancho, profundidad, tipo de lecho, pendiente de los taludes y relación ancho profundidad, para obtener los siguientes resultados: cauces de tipo A, confinados, con poca relación ancho - profundidad de su cauce, poco sinuosos y con pendientes superiores al 2%, con materiales dominantes de intermedio a pequeño; indicando que existe perturbación en las aguas por los sedimentos finos de tracción de fondo, debido eventos externos al ecosistema del río.

Existen también estudios, en donde la información se obtiene consultando a las estaciones climáticas o hidrológicas; como Perozo (1960), que señaló la importancia que la hidrología tiene en cualquier área geográfica, proponiendo una metodología en donde se describen los pasos a realizar en un estudio de cuenca, con base en la información que se obtiene de estaciones climáticas, hidrométricas y estaciones de azolve. Para permitir cuantificar la cantidad de sedimento en suspensión y acarreos de la corriente, así como su velocidad.

Por su parte Maderey (1972), realizó un balance hidrológico de la Subcuenca del río Tizar, en la cuenca del Valle de México, abarcando el periodo de 1967 a 1968. En éste trabajo se tuvo como base datos meteorológicos e hidrométricos², El autor recomienda que para éste tipo de estudios sean necesarios un mínimo de 10 años de observaciones hidrométricas y climáticas.

Por otro lado Baker y colaboradores (1994a) estudiaron la relación entre precipitación y escurrimiento en la Cuenca del arroyo El Carrizal, en Tapalpa, Jalisco; con la finalidad de ayudar en la evaluación y restauración de un ecosistema ribereño, en sus resultados obtuvieron que el régimen de flujo de la cuenca es generado principalmente por escurrimiento del subsuelo; la zona de saturación de flujo en el arroyo es relativamente pequeña al inicio del periodo de lluvias, hasta después de tres meses de darse estas, es cuando se alcanza el nivel de saturación, y el escurrimiento superficial está restringido a caminos y suelos desprotegidos de vegetación.

Asimismo, en el estudio de cuencas se emplean evaluaciones a partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite, para después ser analizadas por medio de índices y a través de la utilización de algún sistema de información geográfica, herramienta que ha resultado de gran valía en éste tipo de estudios.

Como el estudio de Baker y su equipo de trabajo (1994b), quienes realizaron en la Cuenca del arroyo El Carrizal en Tapalpa, Jalisco una aplicación de Sistemas de información geográfica (SIG³), utilizando paquetes de sistema ERDAS, ILWIS, LTPplus y PC ARC/INFO, en ellos se capturaron datos de drenaje, geología, hidrografía, uso del suelo, cobertura vegetal, suelos e información social; todo esto para obtener una evaluación de análisis de erosión potencial, planeación del uso del suelo y modelos de calidad de agua.

Y Ortega (1996) mediante un sistema de información geográfica, creó una base de datos geográficos automatizada para la Cuenca del Río Chiquito de Morelia, Michoacán, delimitando así unidades de manejo, para estudios posteriores en otras cuencas.

Con los estudios hidrológicos se pueden llegar a conocer las causas y el grado de perturbación, y proponer después alternativas de solución, como Ovadia (1976), quien hizo una descripción física de la Cuenca Atoyac - Zahuapan detectando un gran desequilibrio ecológico ocasionado por factores como: tala inmoderada de bosques, establecimiento de sistemas agrícolas en terrenos con un alto grado de pendiente, además de descargas de aguas residuales sin tratamiento a todos los cuerpos y corrientes de agua de la cuenca.

Por su parte López (1992) calibró el parámetro de escurrimiento en cinco cuencas hidrológicas en Chamela, Jalisco, con el método de cuencas pareadas, las cuales presentaron valores bajos para el coeficiente de escurrimiento y porcentaje de lluvia anual escurrido, debido a los altos índices de infiltración sin presentar diferencias entre ellas, por ser zonas no perturbadas.

No sólo los trabajos como hemos visto, se remiten a conocer los grados de perturbación, sino que deben estar también, encaminados a encontrar aquellas cuencas con potencial en el manejo de sus recursos naturales con el fin de obtener un provecho para la población; como Cantú (1992), quien realizó un estudio y diagnóstico de las cuencas hidrológicas La Chiripa, El Charquillo y San. Francisco de los Desmontes en N.L., utilizando parámetros hidromorfométricos como área de la cuenca, longitud del cauce principal, densidad de drenaje, caracterización de la red de drenaje, clase y orden de corrientes, geohidrología⁴, entre otros, con la finalidad de plantear alternativas para lograr un manejo adecuado de los recursos agua-suelo en una región árida.

En la Subcuenca de Zapotitlán son pocos los estudios en relación a los recursos naturales desde el punto de vista de Cuenca; tenemos que Fuentes y colaboradores (1971), realizaron un análisis geográfico de la zona de San Juan Raya (municipio de Zapotitlán de la Salinas, Puebla), en donde correlacionaron condiciones abióticas y bióticas como: geología, geomorfología, clima, hidrología, suelo, vegetación, fauna. Su trabajo tuvo la finalidad de tener una base para metodologías posteriores en el manejo sustentable de la comunidad rural.

Después García (1991), realizó un estudio sobre la dinámica de paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la Cuenca del Río Zapotitlán, Puebla; considerando que el factor más importante en la ecología de paisaje es la dinámica geomorfológica, donde para determinar la dinámica del relieve, comparo cuatro subcuencas representativas de la zona, utilizando el análisis morfométrico fluvial de Strahler.

-
1. Plataforma a lo largo del margen del valle de un río, es un remanente del cauce primitivo de una corriente, que se ha abierto camino a un nivel inferior = Terrazas Fluviales (Leet, 1993).
 2. Hidrometría. Parte de la Hidrodinámica que estudia la medición del caudal de un río (Aparicio, 1994).
 3. Es una cadena informativa automatizada que cumple las funciones básicas de almacenar, analizar y cartografiar la información geográfica en diferentes niveles y a diferentes escalas (Rhind, 1989).
 4. Parte de la Geología Física que se encarga del estudio de las aguas del subsuelo (Longwell, *et al.*, 1991).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Realizar un estudio general de la hidrología superficial de la “Subcuenca Baja del Río Zapotitlán, Puebla”.

4.2 Objetivos Particulares

- Regionalizar y Caracterizar la subcuenca baja y sus microcuencas, en cuanto a la estructura morfométrica.
- Caracterizar cada microcuenca con respecto a las redes de drenaje.
- Realizar una caracterización climática, a partir del análisis de información, de los últimos 30 años de temperatura y 30 años precipitación.
- Elaborar el mapa de Uso Actual de Suelo de la Subcuenca baja, con el propósito de analizar su contexto dentro de la caracterización hidrológica

5. METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó siguiendo la metodología propuesta por (SARH 1988 y FAO 1992), para lo cual se plantea la siguiente secuencia:

5.1 Fase Descriptiva.

5.1.1. Delimitación y reconocimiento del Área de Estudio.

La delimitación se llevó a cabo sobre material cartográfico escala 1:50,000, así como en fotos aéreas Blanco/Negro de escala 1:20,000 y 1:75,000.

Se delimito por medio del reconocimiento de los parteaguas, las fronteras de la Subcuenca Hidrográfica, y el límite entre Subcuenca Alta y Baja, así como el límite de cada microcuenca.

5.1.2 Regionalización y Caracterización Hidrológica de la Subcuenca Baja.

Se determinaron los atributos físicos, (hidrología, morfometría, vegetación, uso del suelo y clima), con diferentes alternativas metodológicas, específicas al campo de la hidrología; también con la ayuda del mapa topográfico escala 1:50,000 y de fotografías aéreas Blanco/Negro, escala 1:20,000 y 1:75,000. (Strandberg , 1975; Claver, 1982; SARH 1987 y 1988; INEGI, 1990a, e INEGI 1990b; Campos, 1992; FAO 1992, Rosgen, 1994).

La Regionalización y la Caracterización de la Subcuenca Baja, se realizaron mediante los siguientes pasos:

a) Identificación del Río Zapotitlán y de todos los tributarios o afluentes principales de cada microcuenca, de la Subcuenca Baja. Asignando a cada microcuenca una clave de identidad, es decir un nombre, tomado de la barranca en que se encuentre cada tributarios principal, o en su caso tomando el nombre del poblado más cercano

b) Descripción de la Estructura Morfométrica de la Subcuenca baja, de cada microcuenca. En el mapa topográfico escala 1:50,000 se obtuvieron los siguientes índices: Área y Perímetro, Forma, Índice de la Forma, Coeficiente de Compacidad, Relación de Circularidad, Proporción de Elongación, Curva Hipsométrica, Elevación de la Media y Mediana, Pendiente de la Subcuenca, Pendiente con base en el Paisaje y Tipo de Relieve con base en el Área (véase anexos 9.1).

c) Descripción de la Red Drenaje de cada microcuenca. Con ayuda del mapa topográfico 1:50,000 y fotos aéreas Blanco/Negro, escala 1:20,000 y 1:75,000: se marcaron los escurrimientos intermitentes y efímeros; y se obtuvo de ellos el Tipo de Corrientes, Orden de las Corrientes, Relación de Bifurcación, Densidad de Drenaje, Frecuencia de Corrientes, Textura Media entre los escurrimientos de Primer Orden, Índice de Infiltración Relativa, Longitud del Cauce Principal, Perfil del Cauce Principal y Pendiente de los escurrimientos principales, (véase anexos 9.2).

d) Evaluación del uso del suelo de la subcuenca baja. Se realizó con la técnica de fotointerpretación, sobre aérofotos Blanco/Negro escala, 1: 20,000 y 1:75,000 siguiendo la metodología propuesta por (INEGI 1990a), (véase anexos 9.3).

5.2 Fase de Verificación en Campo.

Se hicieron varias visitas de reconocimiento y verificación al campo para evaluar todos los planteamientos establecidos en la caracterización. Se reconocieron los límites de las microcuencas; la fisonomía de la vegetación y por lo tanto el uso de suelo, corroborando la fotointerpretación previa, de la zona.

5.3 Fase de Caracterización Climática.

Se realizó un análisis climático general, utilizando la metodología de SARH (1987) e INEGI (1990b), en donde a partir de la estación meteorológica número 105 de Zapotitlán de las Salinas, Puebla; se obtuvieron y analizaron datos de temperatura y precipitación de los últimos 30 años del periodo de 1969 a 1998.

Previamente al manejo de datos meteorológicos, se realizaron las pruebas estadísticas de precipitación, para estimar los datos mensuales faltantes y los datos de años incompletos con el Método Racional Deductivo; la Prueba Estadística de las Secuencias, para comprobar que la serie de datos sea homogénea y por lo tanto sean válidas las estimaciones estadísticas que se realicen y el Coeficiente de Variación de los registros, para comprobar que los valores sean estables (Campos, 1992), (véase anexos 9.4).

5.3.1 Sistema de Köppen modificado por Enriqueta García.

Con el Sistema de Köppen modificado por Enriqueta García se realizó la clasificación climática de la zona, tomando como base las temperaturas y precipitaciones máximas, mínimas y media anual, para obtener el Grupo, Tipo, Subtipo, Condiciones de Temperatura, Regímenes de lluvia y variantes del clima en la zona de estudio (INEGI, 1990a).

5.3.2 Sistema de Thornthwaite

Con el Sistema de Thornthwaite, se utilizaron las temperaturas medias mensuales, máximas, mínimas y media anual; precipitación mensual y total anual para realizar los cálculos de índice de calor mensual y anual, la evapotranspiración real y potencial y determinar los periodos críticos de demasia y deficiencia de agua; por último se obtuvo *el índice de aridez* respectivo (Claver, 1982).

5.3.3 Período de Retorno de los Máximos Anuales de Precipitación

De los datos de Precipitación, de 30 años se tomaron las lluvias máximas anuales, para procesarlas estadísticamente mediante la prueba de la Serie Anual de Máximos, y estimar el período de retorno (T_r) de aquellas lluvias máximas mensuales que podrían ser igualadas o excedidas en cualquier año en un lapso promedio de tiempo calculado (Campos, 1992).

5.4 Fase de Análisis y Síntesis de la Información

Para el diagnóstico de la Caracterización Hidrológica se procedió siguiendo la secuencia de FAO (1992), quien propone describir de manera general para la subcuenca, el porque de la presencia de los factores físicos (clima, geomorfología e intemperismo, características hidrológicas del suelo, vegetación y uso de suelo). Mientras que para cada microcuenca, se realizará de manera particular el análisis, con los resultados de la estructura morfométrica, (índices morfométricos y descripción de la red de drenaje) y uso de suelo.

Para crear de una base de datos, con el Sistema de Información Geográfica (ILWIS, versión 2.2, 1998), se colaboró, con la realización de los siguientes mapas, mismos que serán usados posteriormente en un proyecto integral de la Zona de Zapotitlán de las Salinas, Puebla; por la Unidad de Biotecnología y Prototipos, de la ENEP Iztacala, UNAM.

- Mapa del Relieve de la Subcuenca Hidrográfica de Zapotitlán, con él se obtuvieron los índices morfométricos, además del comportamiento hidrológico (de los escurrimientos) en ciertas tofoformas, y la presencia de diferentes fisonomías del primer estrato de la vegetación y uso de suelo.
- Mapa de las microcuencas de la Subcuenca Hidrográfica de Zapotitlán. De los valores de área y perímetro, obtenidos por la digitalización con ILWIS, se procedió a obtener, los índices morfométricos y los atributos dimensionales (geomorfología, uso de suelo y drenaje superficial).
- Mapa del Patrón de Drenaje Superficial de la Subcuenca Baja, se clasificaron los escurrimientos según su jerarquía (principales y secundarios), forma de drenaje y tipo de corrientes (intermitentes y efímeras).
- Mapa del Uso de Suelo de la Subcuenca Baja; Se obtuvo la presencia de diferentes fisonomías del primer estrato de vegetación y uso potencial de suelo con fotointerpretación y corroboración en campo.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Regionalización y Caracterización Hidrológica.

Se ubico la subcuenca de Zapotitlán geográficamente de acuerdo a la (Carta Hidrológica de aguas superficiales, 1983), (véase Cuadro 1). Con el mapa topográfico se delimito la subcuenca hidrográfica del Río Zapotitlán en subcuenca alta y subcuenca baja, con sus respectivas microcuencas de acuerdo a los parteaguas), (véase Figuras 7, 8 y 9).

REGIÓN HIDROLÓGICA	CUENCA FLUVIAL	SUBCUENCA FLUVIAL	CUENCA HIDROGRÁFICA	SUBCUENCA HIDROGRÁFICA	MICROCUENCAS
RH 28 Papaloapan	Río Papaloapan (cuenca alta) (A)	Río Salado (e)	Río Tehuacán	Río Zapotitlán	
				Baja	1. Miahuatepec
				Baja	2. Cutac
				Baja	3. El Panteón
				Baja	4. La Calera
				Baja	5. Agua el Temolote
				Baja	6. Grande
				Baja	7. San Martín
				Baja	8. Chuchuca
				Baja	9. Coahuino
				Baja	10. Metzontla
				Baja	11. Salinas
				Baja	12. El Castillo
				Alta	1. Santa Ana
Alta	2. San Lucas				
Alta	3. San Juan Raya				

Cuadro 1. Regionalización Hidrológica (Criterio FAO, 1996).

La Caracterización física, consiste en conocer con precisión el comportamiento de la Subcuenca a través de la evaluación de parámetros e índices de naturaleza permanente y otros sólo temporales. Los primeros están representados por las características físico morfométricas de la cuenca y los segundos por el clima (tema que se analizará más adelante). Para los factores permanentes, existe la siguiente subdivisión que permite primeramente hacer una visualización de ellos, de manera separada (Campos, 1992), para entender después como se relacionan:

- **Características morfométricas**
- **Características de la red de drenaje**
- **Uso de suelo**

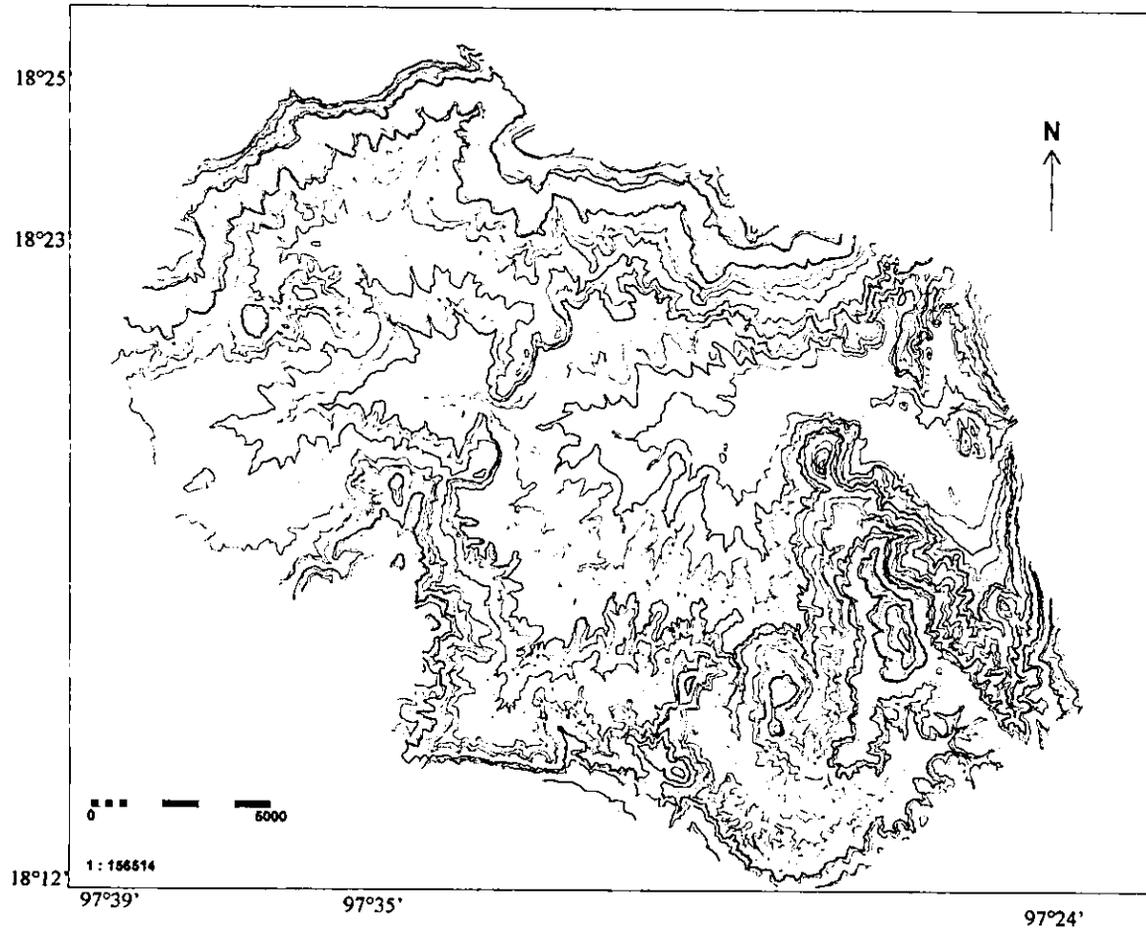


Figura 7. Mapa del relieve de la Subcuenca Hidrográfica de Zapotitlán.

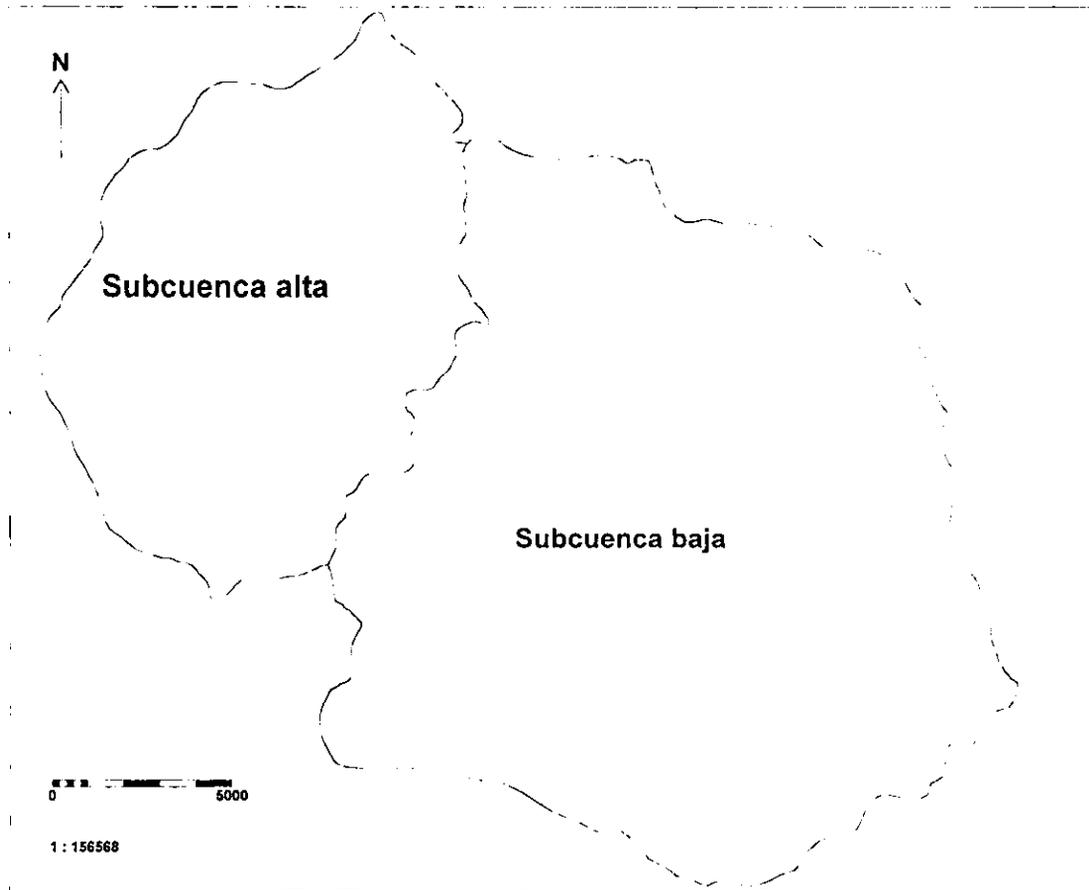
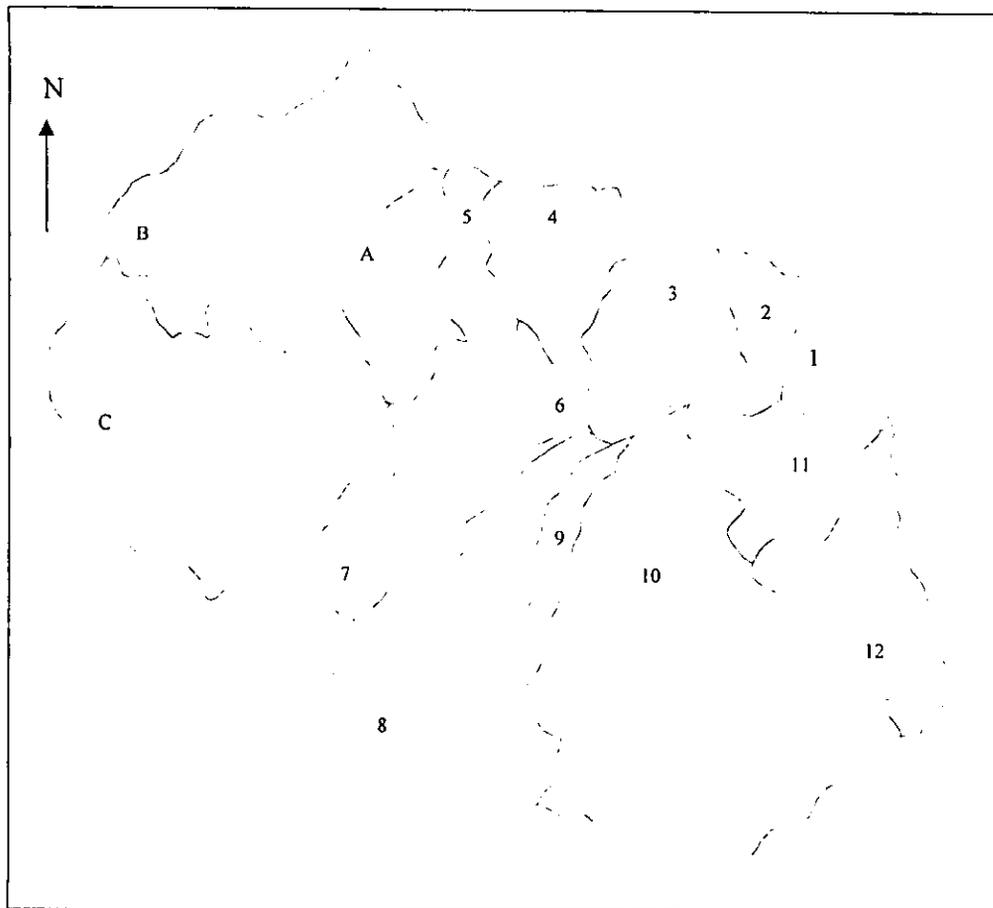


Figura 8. Mapa de la subcuencas alta y baja de Zapotitlán.



Subcuenca Baja:

(área de estudio)

1. Miahuatepec
2. Cutac
3. El Panteón
4. La Calera
5. Agua el Temolote
6. Grande
7. San Martín
8. Chuchuca
9. Coahuino
10. Metzontla
11. Salinas
12. El Castillo

Subcuenca Alta:

- A. Santa Ana
- B. San Lucas
- C. San Juan Raya

Figura 9. Mapa de las microcuencas de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán.

6.1.1 Características morfométricas.

De acuerdo al área obtenida para toda la subcuenca de Zapotitlán, le corresponde la categoría “entre Intermedia y Pequeña”. La subcuenca alta se considera “Pequeña” y la subcuenca baja califica “entre Intermedia y Pequeña”.

Con Respecto a las microcuencas, las que tienen un área por debajo de los 25 km² se consideran “Muy pequeñas” y por arriba de esa área “Pequeñas” (Campos 1992), (véase cuadro 2).

UNIDAD	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)
Subcuenca de Zapotitlán	396	91
Subcuenca Baja	268	42
Subcuenca Alta	128	49
MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA BAJA		
1. Miahuatepec	9	14
2. Cutac	7	12
3. El Panteón	19	18
4. La Calera	20	26
5. Agua el Temolote	17	26
6. Grande	5	10
7. San Martín	19	23
8. Chuchuca	41	35
9. Coahuimo	6	17
10. Metzontla	84	42
11. Salinas	16	19
12. El Castillo	25	25
MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA ALTA		
1. Horno de Cal	16	19
2. San Lucas	51	39
3. San Juan Raya	61	36

Cuadro 2. Área y Perímetro

El perímetro, área y longitud, son considerados para obtener los índices morfométricos, sin conocer aún porcentajes precisos. Los índices por si solos son números fríos, que van a relacionar la forma de la Subcuenca y de cada microcuenca con una figura geométrica. Pero si analizamos los índices, con los factores físicos como el relieve, geología, suelo, vegetación y clima, los cuales intervienen en la respuesta precipitación - escurrimiento para cada tributario principal; se podrá entonces, caracterizar a la subcuenca y a cada microcuenca con base en sus comportamientos hidrológicos (véase cuadros 3 y 4).

SUBCUENCA	FORMA DE LA CUENCA	INDICE DE LA FORMA	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN
Baja	1.0	1	1	2.0	1.0
MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA BAJA					
1. Miahuatepec	0.5	2	1	0.6	0.8
2. Cutac	0.3	3	1	0.6	0.6
3. El Panteón	1.0	1	1	0.7	1.0
4. La Calera	0.3	4	2	0.4	0.6
5. Agua el Temolote	0.3	4	2	0.3	0.6
6. Grande	0.7	1	1	0.6	1.0
7. San Martín	0.3	3	1	0.4	0.6
8. Chuchuca	0.3	4	2	0.4	0.6
9. Coahuino	0.1	9	2	0.3	1.0
10. Metzontla	0.7	2	1	0.6	0.9
11. Salinas	1.0	1	1	0.6	1.0
12. El Castillo	0.3	3	1	0.5	0.6

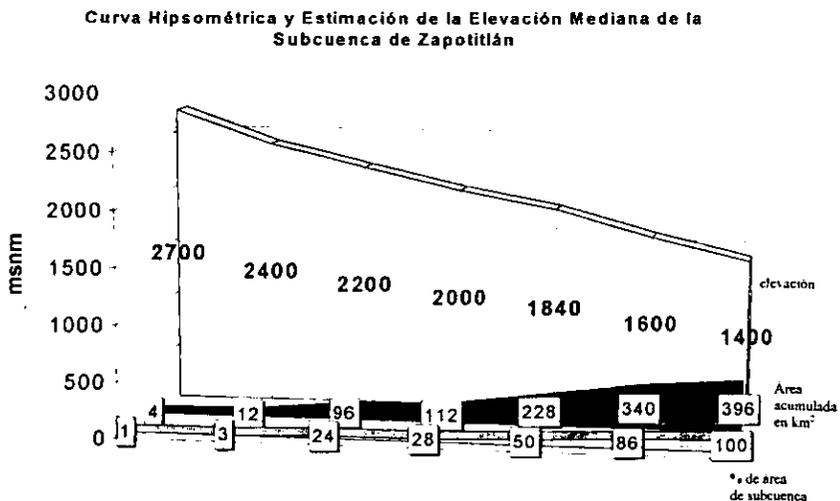
Cuadro 3. Índices Morfométricos.

SUBCUENCA	MORFOMETRÍA
Baja	Cuadrado con salida en el punto medio, forma circular, con relieve accidentado bajo
MICROCUENCAS	
1. Miahuatepec	Cuadrado con salida en una esquina, forma circular, con relieve accidentado fuerte y pendiente pronunciada del terreno.
2. Cutac	Alargada, forma circular, con relieve accidentado fuerte y pendiente pronunciada del terreno
3. El Panteón	Cuadrado con salida en el punto medio, forma circular, con relieve accidentado bajo.
4. La Calera	Alargada, forma alargada, con marcada elongación, fuerte relieve y pendiente pronunciada del terreno.
5. Agua el Temolote	Alargada, forma alargada, con marcada elongación, fuerte relieve y pendiente pronunciada del terreno.
6. Grande	Cuadrado con salida en el punto medio, forma circular con relieve accidentado bajo.
7. San Martín	Alargada, forma circular, relieve accidentado fuerte y pendiente pronunciada del terreno
8. Chuchuca	Alargada, forma alargada, con marcada elongación, fuerte relieve y pendiente pronunciada del terreno.
9. Coahuino	Alargada, con marcada elongación, relieve bajo
10. Metzontla	Cuadrado con salida en el punto medio, forma circular, relieve accidentado bajo
11. Salinas	Cuadrado con salida en el punto medio, forma circular, con relieve accidentado bajo
12. El Castillo	Alargada, forma circular, con relieve accidentado fuerte y pendiente pronunciada del terreno

Cuadro 4. Interpretación de los Índices Morfométricos.

La subcuenca hidrográfica de Zapotitlán tiene un área total de 396 km^2 , en la Curva Hipsométrica el 50% de ésta área, tiene un área acumulada de 228 km^2 , con elevaciones desde los 2700 a los 1840 msnm, es decir desde los parteaguas hasta antes de llegar, a la parte más baja de la subcuenca. Mientras que el otro 50 % de la subcuenca, tiene un área acumulada de 168 km^2 , con elevaciones debajo de los 1840 hasta los 1360 msnm, ésta ultima cota se encuentra en el parteaguas por donde desemboca de la subcuenca el río Zapotitlán.

Por lo tanto la subcuenca, se encuentra en la madurez de su evolución, con un fuerte relieve en la mayor parte del área total; lo que provoca que en época de lluvias torrenciales, el agua pueda transportarse rápidamente y con la fuerza suficiente como para arrastrar, desde las partes más altas, gran cantidad de sedimentos; es decir a mayores cotas el relieve será más accidentado y por lo tanto la velocidad del escurrimiento mucho mayor (Campos 1992; FAO, 1992), (véase gráfica 1).



Gráfica 1.

A partir de la Curva Hipsométrica, también se determinaron las elevaciones de la Media y Mediana para la Subcuenca. La Media obtenida, fue de 1864 msnm y se obtuvo del promedio aritmético de todas las elevaciones, sin tomar en cuenta el área; mientras que la elevación de la Mediana que si toma en cuenta el área, indica que por encima de la cota de 1840 msnm, se encuentra el 50% del área drenada de la cuenca (Wisler 1959).

La subcuenca exorreica del río Zapotitlán, tiene una pendiente para toda el área del 17% (fuertemente ondulada), es decir, el relieve es abrupto desde las cabeceras de cada tributario, hasta las partes medias; hacia abajo se suaviza la pendiente. El fuerte relieve, durante las lluvias torrenciales, permite que la erosión hídrica se lleve a cabo; pero de manera diferente en cada microcuenca, ya que unas aportan más sedimentos que otras.

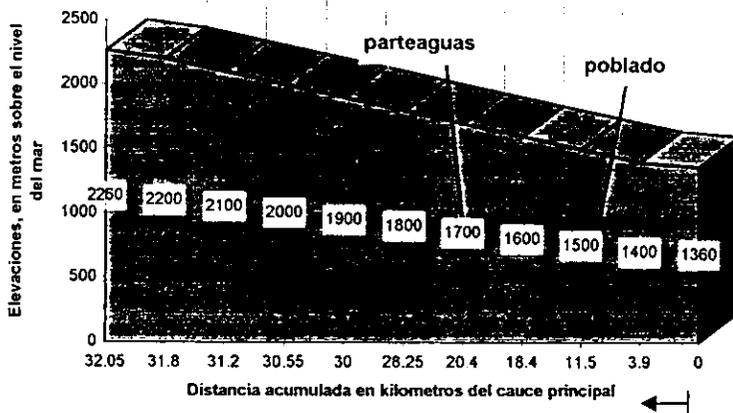
El agua que en época de lluvias, viaja a lo largo de cada tributario, presenta diferente fuerza en su velocidad; en aquellas microcuencas con pendientes más inclinadas, el agua logrará incorporarse más rápidamente y recorrer un mayor tramo de la pendiente llana, del 1% del Río Zapotitlán; que aquellas microcuencas con pendientes más suaves. A medida que se pierde fuerza, en la velocidad del agua, el material arrastrado por cada microcuenca comienza a quedarse a lo largo del lecho, sobre las planicies de inundación (véase cuadro 5).

Cuenca Hidrológica	Pendiente de la Subcuenca %	Longitud del Cauce principal en km	Edad de la Subcuenca
Subcuenca Alta	17 Fuertemente ondulada	27.45	Madura
Subcuenca Baja	17 Fuertemente ondulada	32.25	Madura
Cuenca del Río Zapotitlán	17 Fuertemente ondulada	59.70	Madura

Cuadro 5. Características generales de la Subcuenca de Zapotitlán.

El perfil del cauce principal, de la Subcuenca de Zapotitlán permite conocer la inclinación de la subcuenca y la longitud del cauce principal, que de acuerdo a su magnitud, es una característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica. El trayecto del río principal (32.05 km de largo), es de un gradiente suave, por que es muy grande la distancia, en metros por kilómetro de flujo, a la que van disminuyendo las cotas al mismo tiempo a medida que se avanza de la cabecera a la desembocadura (véase gráfica 2 y cuadro 6).

Perfil del Cauce Principal (Río Zapotitlán)



Gráfica 2.

Curvas de Nivel msnm	Distancia acumulada en km	Diferencia de la distancia en km	Metros por km de flujo
2250	32.05	0.25	250
2200	31.8	0.06	60
2100	31.2	0.65	650
2000	30.55	0.55	550
1900	30.00	1.75	1750
1800	28.25	7.85	7850
1700	20.40	2.00	2000
1600	18.40	6.90	6900
1500	11.50	7.60	7600
1400	3.90	3.90	3900
1360	0.00	0.00	0.00

Cuadro 6. Trayecto del gradiente altitudinal, que atraviesa el Río Zapotitlán.

La pendiente a lo largo del cauce y la pendiente área total de la microcuenca, provocan un impacto sobre la hidrología en cuanto a la respuesta de l escurrimiento, después de la lluvia (véase cuadro 7) .

SUBCUENCA	Metros Sobre el Nivel del Mar A lo largo del cauce principal	Pendiente del Cauce Principal en porcentaje (%)		Tipo de Relieve con base en el área de la Subcuenca	
Baja	1360 a 1700	1	Llano	Véase Cuadro 5	
MICROCUENCAS					
1. Miahuatepec	1380 a 1620	7	Accidentado medio	3 000	accidentado
2. Cutac	1400 a 1720	7	Accidentado medio	4 200	accidentado
3. El Panteón	1400 a 1460	1	Llano	4 817	accidentado
4. La Calera	1480 a 1800	5	Suave	4 820	accidentado
	1800 a 2380	19	Fuertemente accidentado		
	1460 a 1500	1	Llano		
5. Agua el Temolote	1520 a 1700	4	Suave	5 678	accidentado
	1700 a 2500	19	Fuertemente accidentado		
	1540 a 1600	1	Llano		
6. Grande	1500 a 1520	1	Llano	0 411	mediano
7. San Martín	1520 a 1740	3	Suave	3 436	accidentado
	1740 a 2080	19	Fuertemente accidentado		
8. Chuchuca	1480 a 1780	3	Suave	3 124	accidentado
	1780 a 2080	10	Accidentado Medio		
9. Coahuino	1460 a 1800	4	Suave	0 534	mediano
10. Metzontla	1480 a 1700	2	Llano	0 800	mediano
	1700 a 2160	4	Suave		
11. Salinas	1360 a 1460	1	Llano	0 619	mediano
12. El Castillo	1380 a 1700	5	Suave	3 128	accidentado
	1700 a 2120	16	Fuertemente Accidentado		

Cuadro 7. Clasificación de la pendiente y el relieve.

Rosgen (1994), propone además de las pendientes analizar los cauces principales no sólo el perfil longitudinal, sino también la sección transversal y tipo de sinuosidad presente; para establecer los cauces en una clasificación que maneja claves de identidad y que más adelante, se analizará todo en su conjunto (véase cuadro 8).

Troeh (1969 citado por Bloom, 1974) y FAO (1990), determinan de las pendientes el tipo de paisaje, con base en el comportamiento del agua, que gracias a la geología, a la forma del relieve, al suelo y la vegetación; el agua puede de manera natural colectarse o a esparcirse; y que conociendo esto, cada vez toman más forma los datos que vamos obteniendo, para determinar que microcuencas son las que convienen, en el manejo de los recursos naturales, como el agua. Aparte de conocer de manera general, la situación de toda la subcuenca (véase cuadro 9).

MICROCUENCAS	Metros Sobre el Nivel del Mar	Tipo	Vista del Plano Morfológico
1. Miahuatepec	1380 a 1620	A	B&G - Baja Sinuosidad
2. Cutac	1400 a 1720	A	B&G - Baja sinuosidad
3. El Panteón	1400 a 1460	C	C - Meandros
4. La Calera	1480 a 1800 1800 a 2380 1460 a 1500	A Aa+ C	B&G - Baja Sinuosidad A - Relativamente Recto C - Meandros
5. Agua el Temolote	1520 a 1700 1700 a 2500 1540 a 1600	A Aa+ C	B&G - Baja Sinuosidad A - Relativamente Recto C - Meandros
6. Grande	1500 a 1520	C	C - Meandros
7. San Martín	1520 a 1740 1740 a 2080	G Aa+	B&G - Baja Sinuosidad A - Relativamente Recto
8. Chuchuca	1480 a 1780 1780 a 2080	B A	B&G - Baja Sinuosidad A - Relativamente Recto
9. Coahuino	1460 a 1800	G	B&G - Baja Sinuosidad
10. Metzontla	1480 a 1700 1700 a 2160	G B	B&G - Baja Sinuosidad B&G - Baja Sinuosidad
11. Salinas	1360 a 1460	C	C - Meandros
12. El Castillo	1380 a 1700 1700 a 2120	A Aa+	B&G - Baja Sinuosidad A - Relativamente Recto

Cuadro 8. Descripción morfológica general de cada tributario principal (Nivel 1-Rosgen 1994).

MICROCUENCAS	Tipo de pendiente del paisaje Troeh 1965 Comportamiento -Agua	Orientación	FORMA DE RELIEVE
1. Miahuatepec	I colectora	Toda el área	Cuesta con cresta homoclinal
2. Cutac	I colectora	Toda el área	Ladera rectas y Cóncavas
3. El Panteón	I colectora IV esparcidora	Porción Sudoeste Todo el resto del área	Ladera Cóncava Declive, Terraza Aluvial
4. La Calera	I colectora	Porción Norte	Ladera Convexa y Declive Lomas Terraza Aluvial
5. Agua el Temolote	I colectora IV esparcidora	Porción Norte Todo el resto del área	Laderas Cóncavas Terraza Aluvial
6. Grande	IV esparcidora	Toda el área	Lomas y Terraza Aluvial
7. San Martín	IV esparcidora	Toda el área	Declive Terraza Aluvial y Lomerios
8. Chuchuca	I colectora IV esparcidora	Porción Norte Porción Sudoeste	Declive Terraza Aluvial y Loma
9. Coahuino	II colectora	Toda el área	Mesas y Lomas
10. Metzontla	I colectora IV esparcidora II colectora	Porción Noreste Norte Sur - Centro y Oeste	Laderas Cóncavas y Declive Terraza Aluvial y Lomas
11. Salinas	I colectora	Toda el área	Laderas Cóncavas y Convexas, Pie de Monte
12. El Castillo	I colectora II colectora IV esparcidora	Porción Oeste Porción Sudeste Porción Este	Ladera Recta y Cóncava Ladera Cóncava y Convexa, Pie de monte, Terraza Aluvial

Cuadro 9. Clasificación de la Pendiente del Paisaje y Forma del Relieve.

Las pendientes del paisaje se dividen en cuatro perfiles cóncavos o convexos de la siguiente manera (véase Tabla 2).

PENDIENTES	Reptación	Lavado Pluvial	Curvas de Nivel
Colectoras	II Perfil Convexo	I Perfil Cóncavo	Cóncavas
Esparcidoras	III Perfil Convexo	IV Perfil Cóncavo	Convexas

Tabla 2. Tipos de Perfil para diversas Pendientes (Troeh, 1965 citado por Bloom, 1974).

El funcionamiento de la Subcuenca depende directamente del comportamiento hidrológico que ocurra en cada una de las microcuencas. El río Zapotitlán, recibirá más agua (descarga), con más sedimentos (carga), de aquellas microcuencas pedregosas, con pendientes más pronunciadas pero, con material geológico menos resistente, menor cubierta vegetal, mayor frecuencia de corriente y mayor densidad de drenaje.

6.1.2 Características de la red de drenaje.

La Magnitud de ramificación y extensión de la red de drenaje dentro de cada microcuenca será mayor o menor al considerar, para la zona semiárida de la subcuenca de Zapotitlán, tanto las corrientes intermitentes como efímeras; indicado por la densidad, frecuencia, textura, orden y relación de bifurcación, de cada microcuenca (véase cuadros 10 y 11 y figura 10).

MICROCUENCAS	Densidad de Drenaje km / km ²	Frecuencia de Corriente km ²	Textura ½ (en cuanto al espaciamiento entre tributarios y 1er. orden)	
1. Miahuatepec	2	14	0.78	Media
2. Cutac	2	15	0.58	Media
3. El Panteón	2	9	0.63	Media
4. La Calera	1	8	0.77	Media
5. Agua el Temolote	2	11	0.38	Media
6. Grande	2	4	0.90	Media
7. San Martín	2	8	0.48	Media
8. Chuchuca	2	10	0.45	Media
9. Coahuino	2	8	0.65	Media
10. Metzontla	2	11	0.35	Media
11. Salinas	2	9	0.51	Media
12. El Castillo	2	17	0.21	Fina

Cuadro 10. Morfometría de la red de drenaje, para cada microcuenca.

CUENCA HIDROLÓGICA	Orden / No. Corrientes	Relación de Bifurcación (Rb)	(Rb) distorsión de la red de drenaje por la estructura geológica	PATRÓN DE DRENAJE
Subcuenca Baja	1 / 11 2 / 1 Corriente principal	11 0000	Si se distorsiona	Paralelo
MICROCUCENCAS				
1. Miahuatepec	1 / 85 2 / 27 3 / 6 4 / 2 5 / 1 Corriente Principal	3 1544	No se distorsiona	Rectangular Paralelo Dendrítico
2. Cutac	1 / 86 2 / 15 3 / 4 4 / 1 Corriente principal	4 3426	No se distorsiona	Dendrítico Subdendrítico
3. El Panteón	1 / 118 2 / 28 3 / 10 4 / 2 5 / 1 Corriente principal	3 3805	No se distorsiona	Paralelo Subdendrítico
4. La Colera	1 / 127 2 / 26 3 / 5 4 / 2 5 / 1 Corriente Principal	3 4052	No se distorsiona	Dendrítico Subdendrítico angular asimétrico
5. Agua el Temolote	1 / 134 2 / 30 3 / 8 4 / 3 5 / 1 Corriente principal	3 3529	No se distorsiona	Dendrítico Subdendrítico Retorcida
6. Grande	1 / 13 2 / 3 3 / 1 Corriente principal	3 6055	No se distorsiona	Dendrítico
7. San Martín	1 / 109 2 / 29 3 / 7 4 / 2 5 / 1 Corriente Principal	3 3390	No se distorsiona	Dendrítico Subdendrítico Asimétrica Angular
8. Chuchuca	1 / 313 2 / 71 3 / 14 4 / 3 5 / 1 Corriente principal	4 3301	No se distorsiona	Pinnada Subparalela Dendrítico Subdendrítico
9. Coahuano	1 / 41 2 / 7 3 / 1 Corriente Principal	6 4031	Si se distorsiona	Paralela
10. Metzontla	1 / 682 2 / 143 3 / 42 4 / 9 5 / 2 6 / 1 Corriente principal	3 8272	No se distorsiona	Dendrítico Subdendrítico Asimétrica Pinnada Paralela
11. Salinas	1 / 105 2 / 29 3 / 11 4 / 3 5 / 1 Corriente principal	4 7291	No se distorsiona	Dendrítico Paralela
12. El Castillo	1 / 315 2 / 63 3 / 25 4 / 11 5 / 5 6 / 2 7 / 1 Corriente principal	4 4616	No se distorsiona	Paralela Asimétrica Subparalela Dendrítico Subdendrítico

Cuadro 11. Orden de la corriente principal y relación de bifurcación.

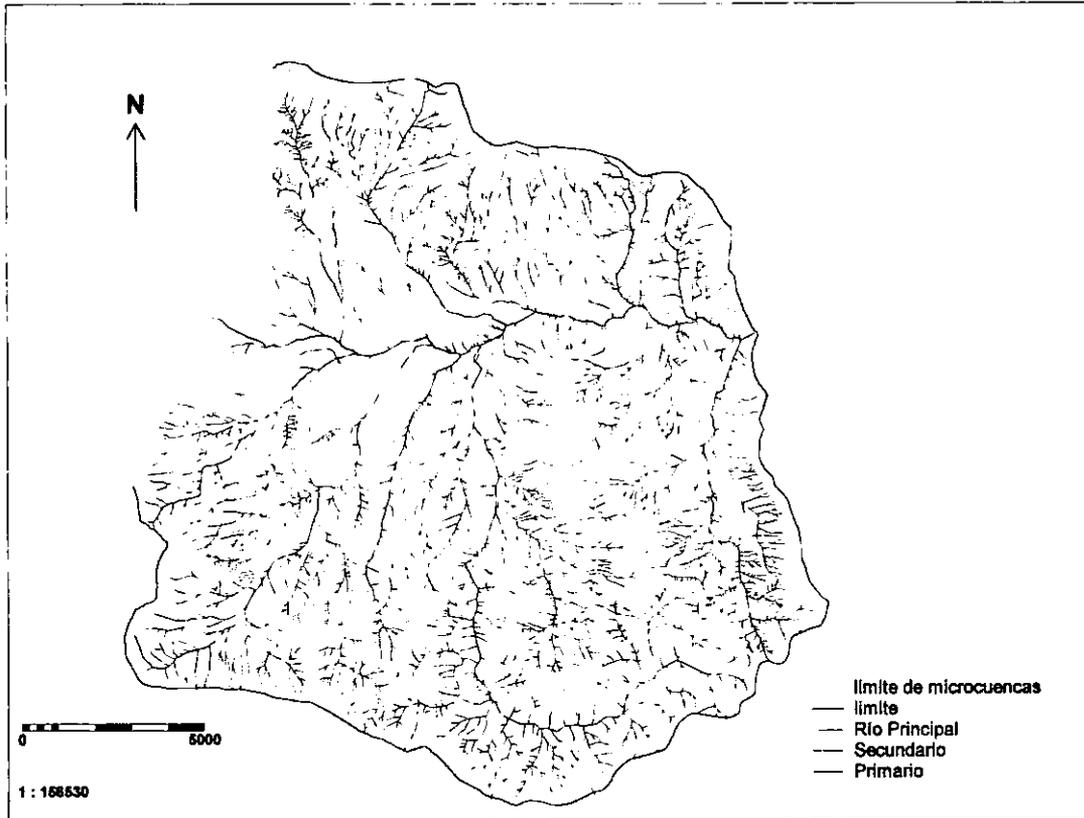


Figura 10. Mapa del patrón de drenaje superficial de la subcuenca baja.

6.1.3 Uso de suelo

Otra característica muy importante para conocer las condiciones hidrológicas de cada microcuenca, es el tipo de vegetación; que se ve influenciado por el clima. La falta de vegetación protectora del suelo sobre todo en las laderas, permite que las avenidas ocasionales, en época de lluvias torrenciales, arrastren sedimentos no sólo a lo largo de los escurrimientos, sino también sobre el terreno que se encuentra entre los escurrimientos (interfluvio), originándose así la erosión hídrica (Derruau, 1978).

Aparte del tipo de vegetación, encontramos que las microcuencas Miahuatepec, Cutac y la Calera, presentan zonas dedicadas a la actividad salinera. El Panteón y la Calera pastizales inducidos, pero esto no quiere decir que sean los únicos sitios para que el ganado padece, puesto que por verificación en campo se pudo constatar, que el pastizaje es libre y abierto, a cualquier tipo de terreno.

Los depósitos aluviales presentan de manera natural matorrales espinosos, pero el hombre los ha deforestado para realizar cultivos de temporal, como en El Panteón, La Calera, Agua el Temolote, Grande, San Martín, Chuchuca y Salinas. Algunas zonas para cultivo han sido ya abandonadas y actualmente se presenta vegetación de sucesión.

De manera general la fisonomía de la vegetación para todas las laderas de la subcuenca, es el Matorral crasicaule (de *Neobuxbaumia tetetzo* y *Cephalocereus columna trajani*, principalmente). Existen también asociaciones de matorral subinermes con crasicaule o con izotales, por mencionar sólo algunos. También zonas con selva baja como en las microcuencas Miahuatepec y Metzontla (véase cuadro 12 y figura 11).

Símbolo	Fisonomía	Símbolo	Fisonomía
Ch	Chaparral	MC-MB	Matorral Crasicaule - Matorral subinermes
D	Desmonte	MC-ME	Matorral Crasicaule - Matorral Espinoso
E	Erosión	ME	Matorral Espinoso
Iz	Izotal	ME-Iz	Matorral Espinoso - Izotal
Iz-MC	Izotal - Matorral Crasicaule	ME-MC	Matorral Espinoso - Matorral Crasicaule
M	Mina	ME-MC-Iz	Matorral Espinoso - Matorral Crasicaule - Izotal
MB	Matorral subinermes	Pi	Pastizal inducido
MB-Iz	Matorral subinermes - Izotal	S	Salinera
MB-MC	Matorral subinermes - Matorral Crasicaule	SB	Selva Baja
MB-MC-Iz	Matorral subinermes - Matorral Crasicaule - Izotal	SB-MC	Selva Baja - Matorral Crasicaule
MC	Matorral Crasicaule	TA	Agricultura de Temporal
MC-E	Matorral Crasicaule - Erosión	VS	Vegetación de Sucesión
MC-Iz	Matorral Crasicaule - Izotal	ZU	Zona urbana

Cuadro 12. Simbología del uso de suelo.

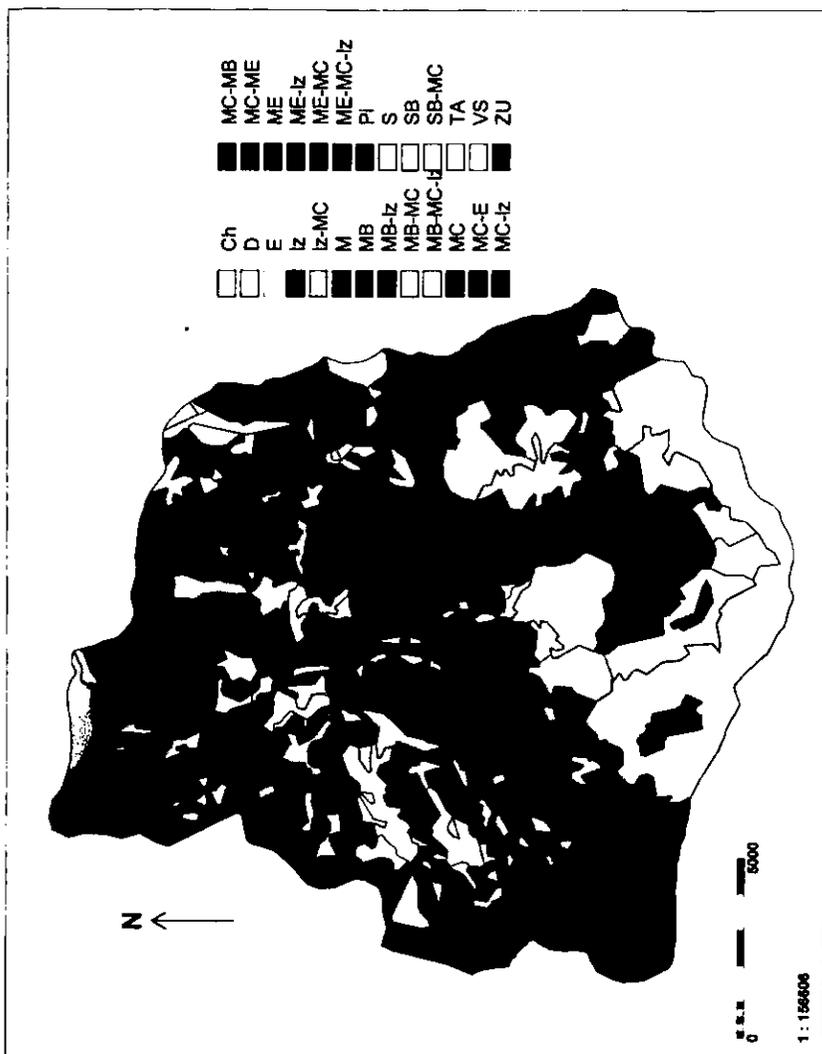


Figura 11. Mapa del uso de suelo de la subcuenca baja.

6.2 Descripción físico – hidrológica de cada microcuenca.

- Miahuatepec (9 km²): los índices morfométricos indican que presenta una forma circular de tamaño pequeño; por lo que sus laderas le permiten una respuesta rápida a la lluvia. La pendiente es cóncava colectora de agua con lavado pluvial, es decir, el agua que se escurre en época de lluvias a través del cauce, no arrastra material durante su trayecto. La geología predominante es de calizas y lutitas. El valle de la microcuenca es joven; puesto que el relieve para toda el área es accidentado, con forma de cresta con cuesta homoclinal¹.

El cauce principal es de tipo A, de acuerdo a la clasificación de Rosgen. La pendiente del perfil longitudinal del cauce corre de los 1380 a los 1620 msnm en el rango de 4 a 10%, (moderadamente accidentado). Hay presencia de pozas de erosión en el cauce y afloramiento de la roca madre. La sección transversal de la corriente es angosta, profunda, confinada y atrincherada, no existe planicie de inundación, la anchura entre el canal y el valle es similar. La vista del plano morfológico es de tipo B & G mostrando un cauce con baja sinuosidad.

- Cutac (7 km²): más pequeña y alargada que Miahuatepec, y de acuerdo a los índices morfométricos presenta la misma respuesta a la lluvia. La pendiente es cóncava, colectora de agua con lavado pluvial, es decir, el agua que se escurre en época de lluvias a través del cauce, no arrastraría material durante su trayecto, pero en esta microcuenca corre al mismo tiempo a lo largo del cauce principal la carretera, la falta de vegetación por deforestación, origina erosión hídrica es decir si existe un arrastre de material. En cuanto a su geología, se presenta en las paredes del cauce, aluvión sobre lutita plegada y conglomerado sobre el lecho.

El relieve para toda el área de la microcuenca es accidentado por lo que el valle del cauce es joven, con laderas cóncavas y rectas, las últimas tiende a concentrar el agua en las partes más bajas. En cuanto a la clasificación de Rosgen, el cauce principal tiene las mismas características que Miahuatepec, su corriente principal va de los 1400 a los 1720 msnm; pero con la excepción de que hacia las partes más bajas del cauce, entre los 1442 y los 1440 existen, unas pequeñas planicies de inundación.

1. Forma del relieve constitutiva de rupturas de pendiente determinadas por el buzamiento (inclinarse hacia abajo) de la roca (Derruau, 1978)

- El Panteón (19 km²): (en ésta microcuenca se ubica el poblado de Zapotitlán de las Salinas, a los 1520 msnm), su cauce principal es el mismo que pertenece en este transecto, al río Zapotitlán (río principal de la subcuenca); de acuerdo a los índices morfométricos, su forma es circular y su respuesta es rápida por ser de tamaño pequeño, además de la descarga (agua) que recibe de los tributarios en época de lluvias, el relieve para toda el área es de tipo accidentado, por lo que el valle del cauce es maduro; hacia la parte suroeste de la microcuenca el perfil de la pendiente es cóncavo colector de agua con lavado pluvial, el resto de la microcuenca aunque presenta también un perfil de la pendiente cóncavo, es esparcidor de agua con lavado pluvial; la litología presente esta formada por calizas, conglomerados y depósitos aluviales.

El tipo de cauce según la clasificación de Rosgen es C y va de los 1400 a los 1460 msnm con una pendiente del 1% llano, con pozas. Para la Sección Transversal y la Vista del Plano Morfológico el canal es más ancho y poco profundo, con una bien desarrollada planicie de inundación y un valle muy ancho (hay acumulación de material en la parte interna de los meandros).

- La Calera (20 km²): su forma es alargada y aunque su tamaño es pequeño, la respuesta al escurrimiento varía de rápida a lenta, a medida que disminuye la velocidad, bajando por las pendientes más accidentadas a las más suaves. El perfil de la pendiente es cóncavo colector de agua con lavado pluvial; la litología es de calizas, conglomerados y rocas metamórficas. El valle es maduro en la porción media y baja, y joven hacia el parteaguas, rumbo al Cerro el Pájarito donde se encuentra la cabecera.

El relieve para toda el área de la microcuenca, es accidentado con laderas cóncavas. El tipo de cauce principal, según la clasificación de Rosgen presenta tres tipos repartidos de la siguiente manera: el tipo A de los 1480 a los 1800 msnm con una pendiente a lo largo del cauce principal del 5% (suave), con pozas de erosión sobre el cauce y con presencia de la roca madre. La sección transversal de la corriente es angosta, profunda, confinada y atrincherada sin planicie de inundación; el ancho del canal y del valle es similar. Las paredes del valle presentan estratos de lutita en la base, cantos rodados y aluvión en la superficie, éste último producto del material recientemente arrastrado; la vista del plano morfológico del cauce es relativamente recto.

De los 1800 a los 2380 msnm aparece el tipo Aa+ con una pendiente para el perfil longitudinal del cauce, mayor al 10%, muy inclinado, la caída del agua en tiempo de avenidas es vertical; presencia de roca madre y alto transporte de sedimentos sobre en el escurrimiento; su sección transversal y la vista del plano morfológico es como el tipo A.

A la Calera también le pertenece, una pequeña parte del cauce principal del Río Zapotitlán, que va de los 1460 a los 1500 msnm, es tipo C con una pendiente sobre el cauce principal del 1%, suave; con pozas de erosión sobre el cauce; el canal es más ancho y poco profundo, con una bien desarrollada planicie de inundación y un valle muy ancho; la vista del plano morfológico presenta meandros y acumulación de material en la parte interna de ellos.

- Agua el Temolote (17 km²): su forma es igual que la Calera, también es una cuenca pequeña, su respuesta al escurrimiento es rápida hacia sus partes altas pero, a medida que se elonga (alargar) el terreno la respuesta puede variar viéndose afectada por la infiltración y evaporación de la descarga (agua); hacia su porción Norte de lo que es la Barranca Agua el Temolote hasta el Cerro la Tarantula, la pendiente es cóncava colectora de agua con lavado pluvial y a medida que se suaviza el relieve, la pendiente continua cóncava pero, esparcidora de agua con lavado pluvial. En su geología se presentan lutitas y calizas.

En cuanto a la edad del cauce, se presenta el mismo comportamiento que la calera, el valle es joven hacia la parte alta y maduro hacia la porción baja. El relieve para todo el área de la microcuenca es accidentado con laderas cóncavas. De la clasificación de Rosgen tiene tres tipos a lo largo de su cauce principal, repartidos de la siguiente forma: tipo A de los 1520 a los 1700 msnm, la longitud de la pendiente del cauce principal es del 5%, suave; con pozas de erosión sobre el cauce, y presencia de la roca madre; la sección transversal de la corriente es angosta, profunda, confinada y atrincherada, sin planicie de inundación; la anchura del canal y el valle es similar; el cauce presenta una baja sinuosidad.

El Aa+ va de los 1700 a los 2500 msnm, la pendiente longitudinal del cauce es de 19%, fuertemente accidentada, la sección transversal es la misma que para el tipo A pero, en cuanto a la vista del plano morfológico el cauce es relativamente recto. El tercer tipo de cauce presente es el C, éste tramo pertenece al río principal (Zapotitlán) sale de la Subcuenca alta de los 1600 a los 1540, la pendiente es del 1%, llana o suave, el canal es más ancho y poco profundo, con una bien desarrollada planicie de inundación y un valle muy ancho, presenta meandros con material acumulado en las partes internas.

- Grande (5 km²): es la más pequeña de todas y se encuentra entre las microcuencas Agua el Temolote y la Calera, su forma es circular con relieve accidentado bajo y la velocidad podría ser rápida o lenta dependiendo de la avenida; el perfil de la pendiente es convexo esparcidor de agua con pendiente de reptación, quiere decir, que en época de lluvias torrenciales, el agua arrastra consigo sedimentos y no los colecta en un solo lugar, sino que los esparce. Su geología sobre el cauce presenta depósito aluvial; mientras que hacia la loma se presentan conglomerados. El cauce principal según la clasificación de Rosgen es de tipo C, de los 1500 a los 1520 msnm, con las mismas características anteriormente definidas para este tipo.
- San Martín (19km²): presenta la misma área que la microcuenca el Panteón pero, la velocidad de respuesta no es rápida en todos sus puntos, debido que es más accidentada hacia las partes altas; y es suave a medida hacia las partes bajas, alargándose el relieve. Por lo que el cauce principal es joven hacia sus partes altas y maduro a medida que desciende hacia la desembocadura. En la clasificación de Rosgen la Microcuenca San Martín, presenta a lo largo de su cauce principal dos tipos, G y Aa+. El tipo G corre de los 1520 a los 1740 msnm, con una pendiente moderada del rango del 2 a 4%; con barrancas que típicamente presentan pozas de erosión sobre el cauce. La sección transversal presenta, una baja proporción de ancho/profundidad, el valle es angosto y profundo y la corriente hace una incisión sobre materiales aluviales, no hay planicie de inundación. La Vista del Plano Morfológico del cauce, es menos sinuoso que el tipo E, éste último presenta meandros tortuosos. El tipo Aa+ de los 1740 a los 2080 msnm, con las mismas características mencionadas anteriormente para este tipo.
- Chuchuca (41km²): su forma es alargada, y debido a que sus tributarios se encuentran en un terreno muy elongado la respuesta al escurrimiento es lenta; el perfil de su pendiente hacia la parte Norte, rumbo al río principal (Río Zapotitlán) es cóncavo colector de agua con lavado pluvial y hacia la porción Suroeste, rumbo a la cabecera del tributario, el perfil también es cóncavo pero, esparcidor de agua con lavado pluvial. La litología es de calizas y conglomerados. El relieve es accidentado, para toda el área y la edad de su valle es madura. El cauce principal presenta a su largo dos tipos, de acuerdo a la clasificación de Rosgen, el B va de los 1480 a los 1780 msnm, con una pendiente del 3% suave, son infrecuentes las pozas y el cauce presenta baja sinuosidad es moderado el atrincheramiento de la relación ancho – profundidad del cauce y el valle es angosto. El tipo A corre de los 1780 a los 2080 con las mismas características ya mencionadas para su tipo, con la única diferencia que su cauce es relativamente recto y no sinuoso.

- Coahuino (6 km²): es pequeña como la microcuenca Grande, pero con la diferencia de que su forma que es totalmente alargada, su respuesta es lenta aunado a su suave pendiente; el perfil de sus laderas es convexo colector de agua con reptación del suelo; su geología es de arenisca y conglomerado; la edad es madura y su relieve es mediano con mesas y lomas. De acuerdo a Rosgen de los 1460 a los 1800 msnm presenta sobre su cauce principal el tipo **G**, con una pendiente sobre su cauce del 4%, suave y con las mismas características ya mencionadas anteriormente para éste tipo en la microcuenca San Martín.

- Metzontla (84 km²): su forma es circular y aunque es la más grande de todas la microcuencas se encuentra en el rango de pequeña. Si se parte de la desembocadura del cauce hacia la cabecera, llegando a la Barranca Nacional ubicada en el mapa topográfico hacia el Centro de la microcuenca, comienza un partaguas entre los 1800 y 2100 msnm, que divide en dos a la misma microcuenca y con un clima diferente de mayor humedad, que se refleja en un cambio de la vegetación que pasa de un matorral crasicauale a una selva baja.

Del Sur al centro de la microcuenca, el perfil de la pendiente es convexo con lomas esparcidoras de agua por reptación, no existe arrastre de sedimentos por la abundancia de la vegetación hacia esta parte, y si se llegará a eliminar por completo la cobertura vegetal, si existiría el arrastre.

Hacia el norte de la microcuenca rumbo al Río Zapotitlán atravesando el partaguas interno que se menciona anteriormente, las laderas cambian de convexas a un perfil cóncavo esparcidor de agua con lavado pluvial; y al noroeste de la microcuenca la pendiente es cóncava, colectora de agua con lavado pluvial. La microcuenca hacia el sur se encuentra fuertemente perturbada, por la presencia importante de áreas con agricultura de temporal.

Presenta de acuerdo al a clasificación de Rosgen dos tipos a lo largo de su cauce principal, el tipo **G** va de los 1480 a los 1700 msnm con una pendiente del cauce principal del 2% llano. El tipo **B** va de los 1700 a los 2160 msnm con una pendiente del 4% suave, con las mismas características ya descritas para estos tipos.

- Salinas (16km²): su forma es circular, el cauce principal de ésta microcuenca pertenece a una parte del cauce de lo que corresponde al Río Zapotitlán, por lo que la edad del valle es maduro, presenta una pendiente suave y un relieve del terreno mediano, su respuesta es rápida porque la diferencia de niveles sólo varía de los 1700 a los 1400 msnm así que sus tributarios son cortos conectándose rápidamente al cauce principal.

El perfil de la pendiente, las laderas es cóncavo colector de agua con lavado pluvial. La litología es de calizas sobre las laderas cóncavas con depósitos aluviales en las partes baja a lo largo del cauce principal. El cauce es de Tipo C, donde la pendiente del perfil longitudinal del cauce, es menor del 2%, llano pero, considerando toda el área de la microcuenca, el relieve es mediano, presenta meandros el cauce que corre, de los 1360 a los 1460 msnm, y tiene las mismas características que la microcuenca Grande. La microcuenca Salinas es la que se encuentra en la desembocadura por donde sale el río Zapotitlán de la subcuenca.

- El Castillo (25 km²) El Castillo, por fotointerpretación se constato que es una de las menos perturbadas tal vez por el difícil acceso que tiene, ya que sus parteaguas son muy altos y escabrosos, de los tipos de pendiente del paisajes están presentes hacia el suroeste de la microcuenca, pendientes colectoras de agua con perfiles convexos de reptación; hacia el este pendientes esparcidoras con perfiles cóncavos de lavado pluvial y hacia el oeste pendientes colectoras de agua con perfiles cóncavos de lavado pluvial. La geología es de calizas sobre las laderas rectas, cóncavas y convexas, por lo que el tipo de relieve para toda la subcuenca es accidentado, y su valle es joven en su mayor parte, sólo una pequeña parte hacia la desembocadura, suaviza la pendiente.

Para la clasificación de Rosgen presenta dos tipos su cauce principal, el A que corre de los 1380 a los 1700 msnm con una pendiente sobre el cauce principal de 5% suave y con las características ya mencionadas para éste tipo; y el Aa+ que va de los 1700 a los 2120 msnm, con una pendiente del 16% sobre el cauce principal también con las características mencionadas para éste tipo anteriormente.

La densidad de drenaje y la frecuencia de la corriente, son indicadoras de la *ramificación y extensión de la red de drenaje* (Campos, 1992); las microcuencas con áreas menores a los 25 km², (Miahuatepec, Grande, Coahuino, el Panteón, la Calera, Temolote, San Martín, con excepción de la Calera, presentan una red de drenaje la cual abarca toda la extensión del área de cada microcuenca.

También el orden de la corriente principal es un indicador de la ramificación y extensión, así que de acuerdo a su área, las microcuencas Miahuatepec, Salinas, El Temolote, El Panteón y San Martín presentan un orden para sus cauces principales de 5, lo que nos confirma, que en estas microcuencas es donde se extiende más la red de drenaje.

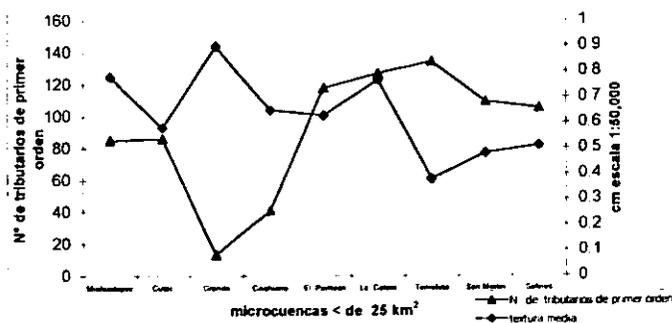
La Calera es también de área menor a los 25 km², pero a diferencia de las microcuencas ya mencionadas, es la única con una densidad de drenaje baja, y aunque presenta también el orden de 5 para su corriente principal, la geología y topografía, no permiten que hacia la desembocadura del cauce principal, se le una, algún escurrimiento; así que ésta microcuenca presenta una menor magnitud y ramificación en su red de drenaje.

Para las microcuencas con áreas mayores a los 25 km², Metzontla y el Castillo son las que presentan una mayor ramificación y extensión de la red de drenaje.

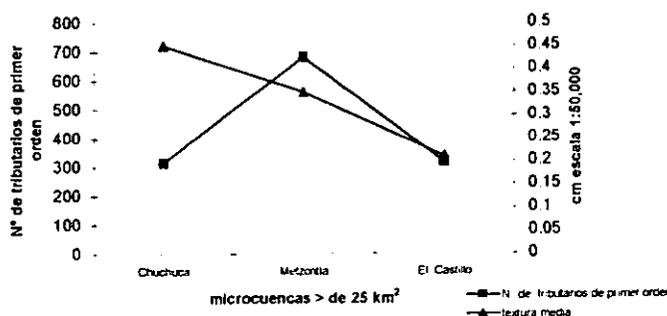
La porosidad del suelo, la permeabilidad y la capacidad de infiltración, son los factores que ejercen mayor control en la *textura del avenamiento* (Claver, 1982). Todas las microcuencas con un área menor a los 25 km², presentan una textura media de avenamiento, con suelos de moderadas tasas de infiltración; pero en Miahuatepec, Cutac, el Panteón, La Calera, Temolote, San Martín y Salinas, se tiene el mayor número de tributarios de primer orden, así que la característica de la textura media, se acentúa más en ellas (véase gráfica 3).

De las microcuencas con un área mayor a los 25 km², Chuchuca y el Castillo muestran el mismo número de tributarios de primer orden, con la diferencia que la microcuenca el Castillo es más pequeña que Chuchuca así, que de ésta última su textura es fina, lo que indica una baja tasa de infiltración, con niveles elevados de escorrentía superficial, roca madre impermeable y suelos de baja permeabilidad, suelos con un lecho que impide el movimiento descendente del agua y con una tasa lenta de transmisión de agua (Claver, 1982), (véase gráfica 4).

Textura de avenamiento entre los tributarios de primer orden



Gráfica 3.



Gráfica 4.

Las microcuencas se graficaron contra el número de tributarios de primer orden (intermitentes y efímeros), y contra la distancia media que existe entre ellos, sobre un mapa escala 1:50,000.

El conocimiento de la relación de bifurcación (R_b) y la frecuencia de la corriente sirven para saber cual es *el comportamiento de la estructura geológica sobre el patrón de drenaje* en cada microcuenca; entre más corrientes tributarias tenga una microcuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje con corrientes de primer orden, más rápida será la respuesta a la precipitación.

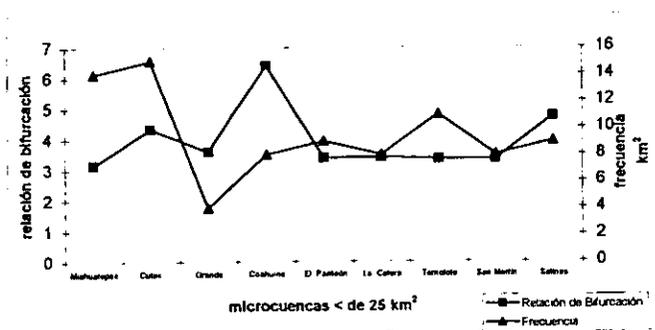
En las microcuencas con áreas menores a los 25 km², Miahuatpec y Cutac, se presentan la mayor cantidad de tributarios de primer orden (de acuerdo al valor de la frecuencia), de forma básicamente dendrítica; estos tributarios se ramifican así porque las condiciones geológicas lo permiten.

Es decir, los escurrimientos al fluir sobre el terreno, generalmente forman ángulos agudos, característico del drenaje dendrítico, tan universal que es considerado la forma básica, común en las rocas macizas compactas y en los estratos casi planos, en tal situación las diferencias de resistencia de las rocas poco influyen o “No influyen” sobre las direcciones de los escurrimientos para llegar al cauce principal de cada microcuenca (Strandberg, 1975; Longwell, *et al.*, 1991), (véase gráfica 5).

Pero cualquier desvío de la red dendrítica básica, significa que el agua de lluvia ha encontrado un tipo distinto de material superficial del terreno, éste nuevo material atarda o acelera los procesos erosivos y entonces ocurrirá lo contrario, que la estructura geológica “Si influya” afectando la forma de la red de drenaje, como en el caso de la microcuenca Coahuino, con un patrón de drenaje paralelo, donde los tributarios de primer orden atraviesan fajas de roca débil, que se encuentran entre estructuras geológicas de material resistente.

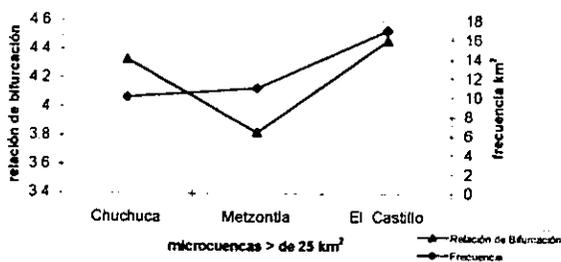
Además la microcuenca Coahuino a diferencia de las otras microcuencas, es la única que presenta el valor de Rb más alto, ésta situación indica que estamos ante una microcuenca alargada con multitud de tributarios de primer orden, vertiendo a una sola corriente principal (véase gráfica 5), (Strandberg, 1975; Claver, 1982; Longwell *et al.* 1991; Blij, 1993; Aparicio, 1994).

Comportamiento de la estructura geológica



Gráfica 5.

Comportamiento de la estructura geológica



Gráfica 6.

De las microcuencas con áreas mayores a los 25 km², el Castillo presenta una frecuencia mayor, de escurrimientos de primer orden, a pesar que Chuchuca y Metzontla son microcuencas de mayor área, esto se debe al tipo de relieve y geología del terreno (véase gráfica 6).

El Castillo es una microcuenca joven con material geológico más resistente, porque presenta un relieve fuertemente accidentado y por lo mismo sus tributarios de primer orden son más cortos; mientras que Chuchuca y Metzontla son microcuencas maduras, la primera con un valle elongado y escurrimientos muy largos; y Metzontla de igual manera con un valle elongado hacia la desembocadura de su tributario principal, y con lomas hacia las cabeceras de sus tributarios de primer orden.

De manera general la influencia de la estructura geológica sobre el terreno, en las tres microcuencas “no influye”, por lo que predomina el patrón de drenaje dendrítico (véase gráfica 6); pero, subdividiendo las microcuencas en submicrocuencas, encontraremos que si existe, una influencia de la estructura geológica, por la presencia de patrones paralelos, subparalelos, asimétricos y pinnados.

En cuanto al *régimen del caudal*, éste depende de la superficie de cada microcuenca y del orden de los cauces; los cauces de orden bajo en cuencas pequeñas, tienen regímenes que consisten en riadas impetuosas durante la época de lluvias, con relieve accidentado, de fuertes pendientes; también entre más bajo sea el orden menor será la longitud de los escurrimientos, como en las microcuencas de área menor a los 25 km², Miahuatepec y Cutac; mientras que Coahuino por ser una microcuenca completamente alargada, con un tributario principal de orden bajo, nos indica que el régimen de sus escurrimientos es suave en época de lluvias torrenciales (véase gráfica 7).

Es decir en Coahuino como microcuenca alargada donde predomina una dimensión, resultan volúmenes con tiempos de concentración y tiempos de base mayores, es decir tarda más tiempo en reunirse el agua de cada tributario de primer orden, para salir después de la microcuenca, por la desembocadura de su cauce principal y unirse al Río Zapotitlán; aquí los picos de crecidas son menores con respecto a un área semejante pero de forma circular, en donde ocurre todo lo contrario, que sería el caso si comparamos a la microcuenca Coahuino de 6 km² de forma claramente alargada, con la microcuenca Cutac de 7 km² de forma circular. Que probablemente presentará una respuesta más rápida al escurrimiento porque debido a su forma tarda menos tiempo en concentrar el agua en el tributario principal, recorrerlo y llegar a su nivel base es decir al Río Zapotitlán (Campos, 1992; Martínez, 1992).

Por lo que toca a la microcuenca Grande, su régimen se encuentra condicionado por el comportamiento de las microcuencas La Calera, El Temolote, y San Martín, ya que ellas, al desembocar en el Río Zapotitlán, de acuerdo a la intensidad de lluvia que se presente, unirán fuerza y velocidad del agua para arrastrar sedimentos, pasando por la microcuenca Grande.

La Calera, El Panteón, San Martín, Salinas y Agua el Temolote presentan un área muy aproximada y de acuerdo a lo propuesto por (Chow en 1962, citado por Campos, 1992) por su área son microcuencas pequeñas sensibles a las lluvias de alta intensidad y corta duración, en las cuales predominan las características físicas del suelo, con respecto a las del cauce, es decir si el material es permeable o impermeable.

Presentan un material geológico que permite a cada una, no limitarse a un sólo régimen, los paisajes accidentados de las partes altas, con varios escurrimientos cortos de primer orden, indican riadas impetuosas; mientras que hacia las partes bajas el relieve se suaviza, con menos escurrimientos de primer orden y más largos, por lo tanto las inundaciones serán mucho más suaves, (véase gráfica 7), (Springall, 1970; Cantú, 1992; FAO, 1990).

De las microcuencas con áreas mayores a los 25 km², Chuchuca y Metzontla presentan un régimen de escurrimientos suave, debido al tamaño de cada microcuenca (véase gráfica 8).

Además que para Chuchuca de la cabecera a la desembocadura el relieve se elonga y los tributarios se hacen más largos. Mientras que para Metzontla el tipo de vegetación (selva baja) ayuda a proteger más el terreno de formas convexas, por las lomas que aquí se encuentran (véase gráfica 8). Pero por verificación en campo se pudo constatar que ésta microcuenca es de las más perturbadas, con grandes extensiones de zonas deforestadas sobre las lomas, para llevar a cabo agricultura de temporal; en ésta microcuenca se corre el riesgo de pérdida de suelo ocasionado por las lluvias.

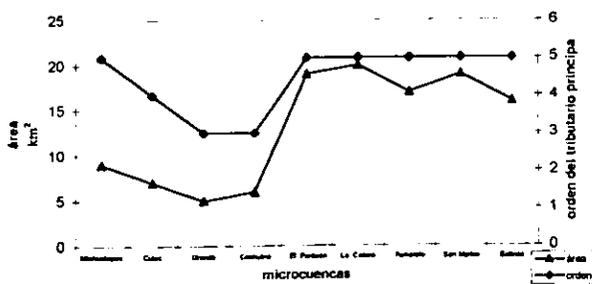
El Castillo en su mayor parte presenta un relieve fuertemente accidentado y sólo una pequeña parte hacia la desembocadura es de relieve suave, entonces el régimen de su escurrimiento es de riadas impetuosas, ésta microcuenca no presenta erosión hidrica sobre su relieve, por lo bien conservada que se encuentra su cobertura vegetal (véase gráfica 8).

Cabe aclarar que en las microcuencas más grandes y alargadas; las zonas medias de las pendientes y las áreas bajas, producen respuestas de flujo más rápidas, que las zonas cercanas a los parteaguas (Baker, 1994a), esto se debe al clima y a la falta de cobertura vegetal sobre las laderas, ya que el matorral crasicaule que ahí se encuentra, no cubre al 100% la superficie total del suelo inmaduro y pedregroso, lo que permite un arrastre de material de las partes más altas y accidentadas, pero en la zona por las altas temperatura en época de lluvias, el agua que se precipita se evapora, y otra parte se infiltra, perdiendo así volumen, fuerza y velocidad el escurrimiento.

Mientras que en las partes medias y bajas el agua que viene de los tributarios principales, alcanza a llegar al Río Zapotitlán, arrastrando material hasta él, aquí existe mayor probabilidad de que por la temperatura, el agua no se evapore en su mayor parte, debido a la presencia de los rellenos aluviales que se formaron por el depósito de sedimentos que la corriente dejó a lo largo de su valle, este relleno de aluvión puede variar desde unos cuantos centímetros hasta varios metros de espesor. (Longwell, 1991).

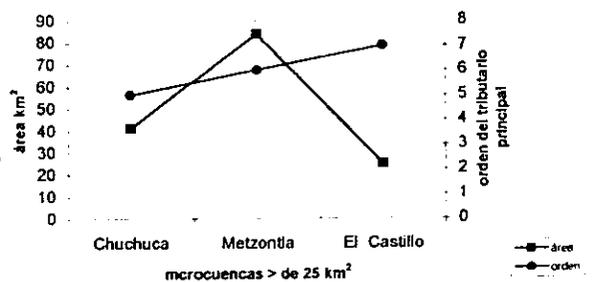
Asimismo a lo largo del río principal existen terrazas fluviales, superficies relativamente planas, que corren a lo largo del valle, y que son el remanente de la amplia planicie de inundación que por cambios climáticos se fueron formando a causa de las cargas mayores de la corriente primitiva que cubrió todo el valle de sedimentos y después la misma corriente erosionó sus propios depósitos abriéndose camino a un nivel inferior (Leet, 1993).

Régimen del caudal



Gráfica 7.

Régimen del caudal



Gráfica 8.

De los factores que influyen en la erosión hídrica de la subcuenca están: el clima, típico de la zona semiárida con lluvias torrenciales; el relieve accidentado provoca que la escorrentía y la erosión aumenten rápidamente con menos del 70% de cobertura vegetal; la reducción de la cubierta vegetal y por las capas de carbonatos que se incrustan al suelo compactando su superficie ocasionando la erosión sobre los escurrimientos y reduciendo la oportunidad de infiltración de agua al subsuelo (Kirkby, 1984, Blij, 1993).

Los factores que influyen en la Desertificación de la subcuenca son aquellos procesos provocados por las actividades humanas de la zona, sobre el agua, suelo y vegetación. El pastoreo que se lleva a cabo en la Subcuenca por el ganado caprino causa efectos combinados de pisoteo ocasionando destrucción de la estructura del suelo; el excesivo pastoreo expone la capa superior del suelo acelerando la erosión por agua y viento (Sharma, 1998).

La agricultura y la actividad salinera por su parte se llevan a cabo en terrenos que previamente fueron desmontados, y que están sujetos a las lluvias inciertas y por lo tanto al escurrimiento de los tributarios.

Los caminos también constituyen un peligro en el desgaste del suelo, en ellos se incluyen brechas, transporte principal y secundario; y caminos principales, todos sujetos a la erosión hídrica. Por lo que para (Madrigal, 1994) nuestra Subcuenca pertenece a una condición a la que él llama "pobre", por presentar un flujo de agua impetuoso pero efímero o intermitente, después de las tormentas y calidad baja del agua por el gran arrastre de sedimentos.

6.3 Caracterización Climática de Zapotitlán

Debido a la situación de la República Mexicana con respecto a la zona subtropical de alta presión y a la orientación general de sus principales sierras, en relación a los vientos dominantes, existen en nuestro país, amplias zonas con clima árido y semiárido. En la Subcuenca de Zapotitlán el régimen pluvial del clima es de carácter local, geográfico, ocasionado por la barrera orográfica de la Sierra Madre Oriental; las altas serranías actúan a manera de barrera impidiendo el paso a las corrientes estables, por lo que del lado del Golfo de México en la sierra, se fuerza el levantamiento húmedo sobre la vertiente montañosa ocasionando así sólo el desarrollo de nubes en las partes altas de las vertientes, éste vapor de agua proporciona la energía suficiente para salvar el obstáculo, aunado al impulso de los vientos dominantes del este (alisios) que juegan un papel importante en la zona.

Si la humedad relativa¹ en las partes altas es del 100% al iniciar el descenso, después de bajar 1,100 metros, su temperatura aumentará 11°C y su humedad relativa bajará a la mitad, es decir al 50% de la que tenía en las alturas; el efecto citado da lugar a la formación de las regiones áridas y semiáridas del país como en el caso de nuestra zona de estudio (García, 1981).

Por otra parte, durante la época fría del año, los vientos del oeste se establecen desplazando a los del este; esos vientos son considerablemente más secos que los alisios, por lo que proporcionan al ambiente de la Subcuenca, la sequedad característica de esa época del año. Las lluvias torrenciales presentes en la Subcuenca son debidas a los huracanes tropicales que se extienden de mayo a octubre sobre las aguas del Golfo de México y que por consiguiente dan años lluviosos sobre el Altiplano Central (García, 1988).

Se realizó la prueba estadística en cuanto al coeficiente de variación, de la serie de datos de precipitación, la cual resulto ser muy corta para hacer estimaciones exactas o, podría ser que la lluvia de la Subcuenca es altamente aleatoria, esto último parece tener mayor sentido ya que diversos autores han señalado que el clima de la Subcuenca de Zapotitlán, se caracteriza por la presencia de lluvias poco frecuentes y muy variables.

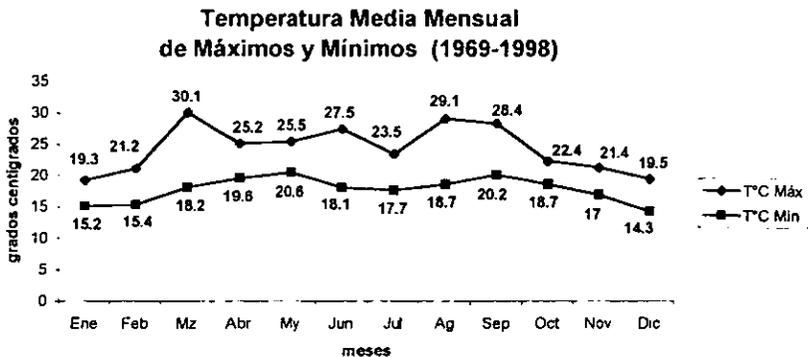
En cambio para la temperatura, el coeficiente de variación demuestra que la serie de datos es aceptable por lo tanto permitirá realizar estimaciones exactas de su comportamiento (véase cuadro 1).

1. Cantidad de agua en forma de vapor que puede encontrarse en la atmósfera como función directa de la temperatura (Aparicio, 1994).

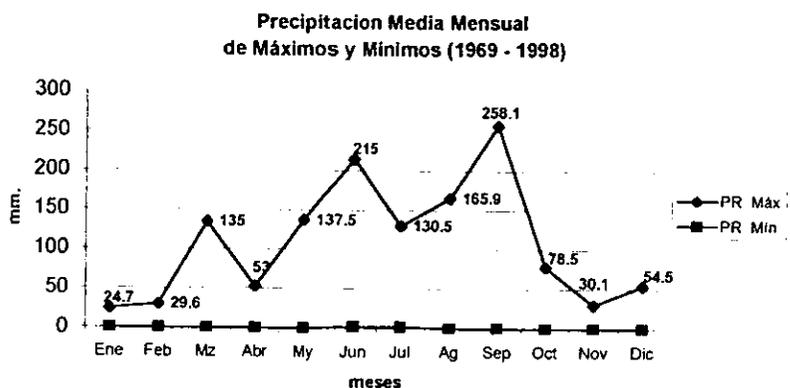
30 años 1969 - 1998	Número de datos muestrales	media	desviación standard	coeficiente de variación	Por lo tanto
Temperatura Media Mensual	12	20.97	2.11	0.10	$0.10 < 0.20$
Precipitación Media Mensual	12	31.23	29.38	0.94	$0.94 > 0.25$

Cuadro 1. Análisis probabilístico por el coeficiente de variación de la temperatura y precipitación en 30 años.

De acuerdo al análisis hecho, se tiene que la temperatura media mensual máxima se presenta en el mes de marzo con 30.1°C , seguido de agosto con 29.1°C y junio con 27°C , mientras que las medias mínimas mensuales varían de enero con 15°C , febrero con 16.4°C y diciembre con 14.3°C . En cuanto a la precipitación los valores a lo largo de 30 años varían considerablemente, las medias máximas mensuales desde marzo con 135 mm, junio con 215 mm y septiembre con 285.1mm, cabe aclarar que dichos eventos no se presentan con regularidad en cada mes, pueden darse en cualquier momento precipitaciones extraordinarias derivadas de alguna situación extrema de un sólo evento. (INEGI, 1990a). La precipitación media mínima mensual, por lo regular a lo largo del tiempo presenta valores de cero milímetros (véase gráficas 1 y 2).



Gráfica 1.



Gráfica 2.

6.3.1 Clasificación Climática al sistema Köppen modificado por García (SARH, 1987, INEGI 1990).

La siguiente clasificación climática para la Subcuenca de Zapotitlán es de acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (1973) para México. Se trabajo con series de datos de 30 años para la precipitación y para la temperatura, de la siguiente estación:

NOMBRE DE LA ESTACIÓN: Zapotitlán de las Salinas, Puebla

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: Latitud 18°20' Longitud 97°28'
Altitud 1520

PERÍODO DE OBSERVACIÓN: Temperatura 1969 – 1998

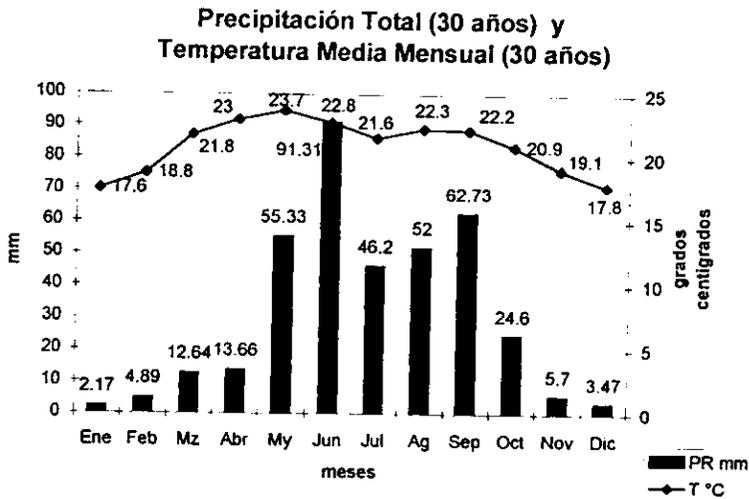
Precipitación 1969 – 1998

Datos mensuales y anuales de temperatura en °C y de Precipitación en mm.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MEDIA ANUAL
T°C media mensual 30 años	17.6	18.8	21.8	23.0	23.7	22.8	21.6	22.3	22.2	20.9	19.1	17.8	21.0 °C
P mm. media mensual 30 años	2.17	4.89	12.64	13.66	55.33	91.31	46.20	52.00	62.73	24.6	5.70	3.47	374.7 mm

Cuadro 2. Temperatura y Precipitación media anual de 30 años

Las precipitaciones medias mensuales máximas se presentan en los meses de mayo con 55.33 mm, junio con 91.31 mm y septiembre con 75.92 mm; destacando claramente el efecto de canícula (sequía de medio verano que se presenta en la mitad caliente y lluviosa del año) con 46.20 mm, para después subir en los dos meses siguientes. La temporada de sequía se extiende de noviembre a marzo, correspondiéndole a diciembre el mes mas seco. La temperatura media anual muestra un comportamiento mas regular lo largo del año, aumenta gradualmente siendo el período más caliente el que va de abril a junio (véase cuadro 2). Por otra parte, el período frío va de diciembre a febrero, por la misma regularidad de la temperatura la oscilación térmica es baja. (véase gráfica 3).



Gráfica 3.

1. Temperatura media anual: 21.0°C
2. Temperatura del mes más frío y mes en que se presenta: 17.6°C Enero
3. Temperatura del mes más caliente y mes en que se presenta: 23.7°C Mayo
4. Precipitación media anual: 374.7 mm
5. Precipitación del mes más seco y mes en que se presenta: 2.17 mm Enero
6. Precipitación del mes más lluvioso y mes en que se presenta: 91.31 Junio
7. Porcentaje de lluvia invernal: 5.26%
8. Régimen de lluvias: De Verano
9. Régimen calculado: Seco

10. Grupo: Clima Seco **B**; Subgrupo: **Bh**

11. Tipo de clima: Régimen de lluvias de verano, es el porcentaje de lluvias invernal respecto al total anual: 7.78% **w**

12. Cociente de precipitación anual: 19.6 grados de humedad, por lo tanto áridos **Bso**

13. Subtipo climático, según el grado de humedad: Seco **So**

14. Variantes:

- Canícula (sequía de medio verano): **w''** ;
- Poca oscilación térmica 6.10 °C: (**i'**)
- Mes más caliente mayo, antes del Solsticio de verano junio: **g** (en el hemisferio norte)

15. **BSohw''(i')g**

16. Descripción: Clima seco, semicálido, con una temperatura media anual de 21.0°C, con poca oscilación térmica entre los 5° y 7°C, en mayo con la temperatura más alta, es el mes más caliente que se presenta antes del solsticio de verano; régimen de lluvias de verano; presencia de una canícula a mitad del período de lluvias y con una precipitación media anual de 374.74 mm.

6.3.2 Clasificación climática por el Sistema de Thornthwaite

Otro sistema muy utilizado para la caracterización y clasificación del clima de cualquier zona es el método Thornthwaite, trabaja con valores de precipitación y temperatura para obtener la evapotranspiración potencial (agua devuelta a la atmósfera en estado de vapor, y que depende tanto de la vegetación como de los factores climáticos. De igual modo se trabajó con los 30 años de precipitación anual y 30 años de temperatura media anual.

Al hacer el balance general de humedad de la subcuenca, se tiene que la precipitación anual promedio no excede de los 41.24 cm, mientras que la evapotranspiración potencial es de 99.28 cm, esto significa que la evapotranspiración supera en más del doble al valor de la precipitación, limitando así los procesos de infiltración y escurrentia impidiendo la retención de agua.

Retomando el modelo de U.S Weather Bureau (citado por Campos, 1992) y aplicándolo a la Subcuenca estudiada que tiene un área de 396 km² el porcentaje de precipitación puntual², se reparte de la siguiente manera: si se tiene una lluvia de 30 minutos, del total del área, sólo un 60% captará el agua precipitada; y si la lluvia es de una hora, sólo el 70% del área captará el agua y para que el 90% del área de la Subcuenca pueda captar el agua de lluvia, tendrían que llover por lo menos 6 horas seguidas, obviamente esta situación es

prácticamente imposible que se de para la zona de estudio, ya que las propias características físicas y climáticas de la Subcuenca jamás lo permitirían.

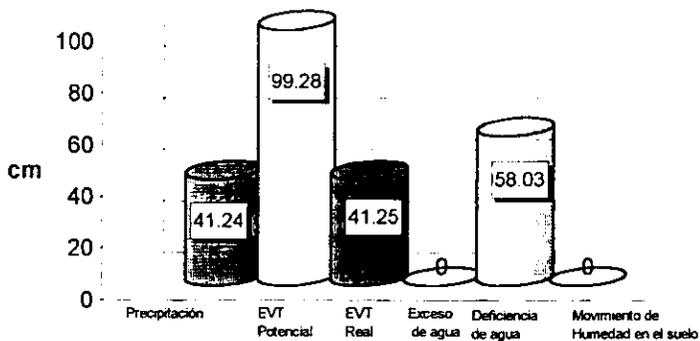
Volviendo a revisar la relación entre la precipitación anual (37.47 cm) y la evapotranspiración potencial (99.28 cm), se comprende que la misma agua que cae es la misma que se evapora y a esto se conoce como Evapotranspiración Real (ER= 37.47) (que es la evaporación del suelo cuando el suministro de agua es restringido). Si se resta EP de ER el resultado es el déficit que hay de agua en la zona DEF= 61.81 cm. En consecuencia el exceso de agua (EXC) es nulo, lo mismo ocurre con el Movimiento de Humedad en el suelo (MH), (véase gráficas 4 y 5).

En la gráfica 5 también se puede apreciar que la evapotranspiración potencial supera en todos los meses a la precipitación; sin embargo en donde las deficiencias de agua disminuyen son en los meses de junio y septiembre, lo que significa que en estos meses es en donde se dispone de mayor humedad. Por otra parte, los meses con mayores déficits de agua son marzo y abril (ver anexos, tabla 18, página 81).

Por lo regular del total del agua captada en una cuenca de una zona árida, como lo muestra el estudio en la Cuenca baja del Río Pílon Casillas N.L., sólo es posible aprovechar del 5 al 15% de ésta, ya que del 85-95% se pierde en evaporación o infiltración, (López, 1991). Maderey (1972) encontró que el escurrimiento de la cuenca del Río Tizar fue sumamente bajo (1.32% de la precipitación), lo que se explica por la constitución geológica del terreno, confirmado por rocas con alto valor de infiltración (41.44% de la precipitación) y por la elevada tasa de evapotranspiración (57.24% de la precipitación) ocasionado por las condiciones climáticas del lugar.

2 Lluvia que se produce en el punto en que está instalado el aparato de medición (Aparicio, 1994).

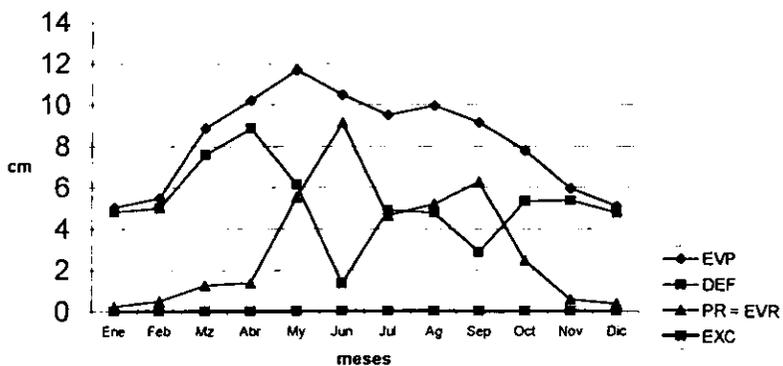
Climograma Anual de Zapotitlán de las Salinas, Pue. (Sistema de Thornthwaite)



Datos de Promedios Anuales

Gráfica 4.

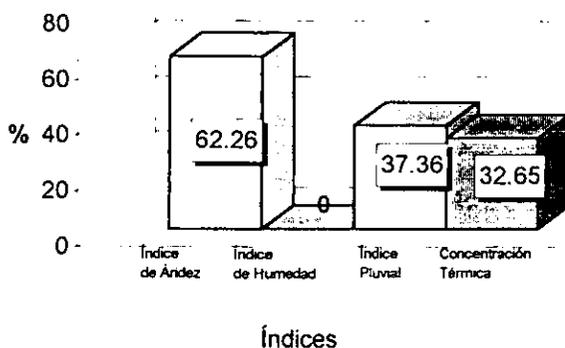
Climograma Mensual de Zapotitlán de las Salinas, Pue. (Sistema de Thornthwaite)



Gráfica 5.

El método Thornthwaite también permite obtener índices climáticos, de acuerdo al valor de la evapotranspiración potencial anual (99.28 cm) y a la temperatura media; a la zona le corresponde un Categoría de Semi-cálido. Por otra parte el Índice de Aridez (IA) es del tipo HE con 62.26% mostrando una gran deficiencia de agua. El Índice de Humedad (IH) es del tipo SA con 0% es decir con pequeña o nula demasia de agua. El Índice Pluvial (IP) es de tipo PH con 37.36% típico de un clima seco y por último, una Concentración Térmica (CT) de tipo VA con 32.65% que indica que el régimen de temperatura es cálido (véase gráfica 6).

Índices Climáticos Anuales (Sistema de Thornthwaite)



Gráfica 6.

6.3.3 Período de retorno de lluvias máximas (Tr).

El período de retorno de lluvias máximas es un índice que permite conocer el tiempo probable en el que un evento extraordinario de precipitación máxima se puede dar en un sitio determinado, como ya se mencionó, Zapotitlán es una zona semiárida con lluvias poco predecibles refiriéndose a la cantidad de agua máxima que pueda caer; así calculando el período de retorno (Tr) de las lluvias máximas de 30 años (1969 a 1998) se podrá saber en que número de años existe la posibilidad de que se repita una precipitación mensual máxima (se trabajo sólo con esta serie de datos, por que se tenían todos los valores de precipitación total mensual completos en éste período). De acuerdo a los

resultados obtenidos, los meses de máxima precipitación mensual se acomodaron en orden creciente, por otra parte la máxima precipitación mensual presentada para la Subcuenca baja es de 258.1 mm.

De acuerdo al Tr, se considera que existe la probabilidad de que una precipitación similar se pueda repetir en cualquier mes durante el transcurso de un periodo de 31 años. Para precipitaciones que van de los 17.1 a los 91.5 mm su periodo de retorno es de un año pudiéndose presentar en cualquier mes del periodo de lluvias, para lluvias del rango de 92.9 a 137.5 mm se obtuvo un periodo de retorno de dos años. Así también hay lluvias máximas mensuales que pueden ocurrir cada 5, 8 y 10 años (véase cuadro 3).

No.	Fecha	Lluvia Total Anual mm	m	Eventos en orden creciente	Tr	Años
1	Ag 1969	194.7	1	258.1	31.00	31
2	Jun 1970	90.0	2	215.0	15.50	16
3	Sep 1971	149.0	3	194.7	10.33	10
4	Jun 1972	91.5	4	172.5	7.75	8
5	Jun 1973	170.5	5	170.5	6.20	6
6	Jun 1974	215.0	6	168.5	5.16	5
7	May 1975	118.0	7	165.9	4.42	4
8	Jul 1976	92.9	8	155.0	3.87	4
9	Ag 1977	95.2	9	153.0	3.44	3
10	Jun 1978	75.0	10	149.5	3.10	3
11	Sep 1979	155.0	11	149.0	2.81	3
12	Sep 1980	172.5	12	141.0	2.58	3
13	Ag 1981	165.9	13	137.5	2.38	2
14	Jun 1982	73.3	14	137.5	2.21	2
15	Jun 1983	104.0	15	122.5	2.06	2
16	Sep 1984	258.1	16	118.0	1.93	2
17	Jun 1985	84.8	17	104.0	1.82	2
18	Jun 1986	90.3	18	102.5	1.72	2
19	May 1987	122.5	19	95.2	1.63	2
20	Ag 1988	102.5	20	92.9	1.55	2
21	Jun 1989	137.5	21	91.5	1.47	1
22	Sep 1990	64.0	22	90.3	1.40	1
23	Ag 1991	54.7	23	90.0	1.34	1
24	May 1992	137.5	24	84.8	1.29	1
25	Jun 1993	141.0	25	78.5	1.24	1
26	Jun 1994	149.5	26	75.0	1.19	1
27	Ag 1995	153.0	27	73.3	1.14	1
28	Jun 1996	168.5	28	64.0	1.10	1
29	Oct 1997	78.5	29	54.7	1.06	1
30	Abr 1998	17.1	30	17.1	1.03	1

Cuadro 3. Serie anual de lluvias máximas mensuales en Zapotitlán

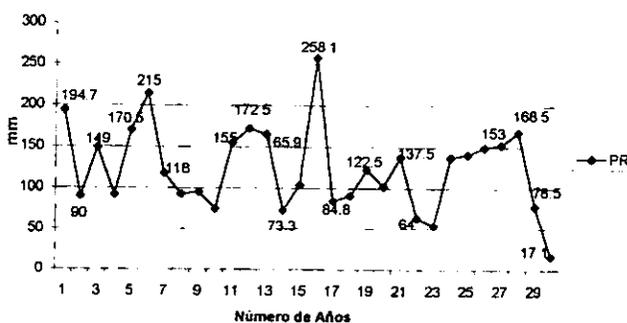
Todo lo anterior también puede expresarse en términos de probabilidad de que la precipitación máxima sea rebasada. Por ejemplo, para que se pueda rebasar una precipitación de 258.1 mm mensuales en la Subcuenca en cualquier mes durante 31 años, la probabilidad es del 3.22% y por el contrario se tiene un 96.77% de que dicha precipitación máxima mensual no se exceda. Y así sucesivamente de acuerdo al orden decreciente de las precipitaciones máximas mensuales de (véase cuadro 4).

m	Eventos en orden creciente mm	Tr años	Probabilidad de Excedencia %	Probabilidad de No excedencia %
1	258.1	31.00	3.22	96.77
2	215.0	15.50	6.45	93.54
3	194.7	10.33	9.67	90.32
4	172.5	7.75	12.90	87.09
5	170.5	6.20	16.12	83.87
6	168.5	5.16	19.35	80.64
7	165.9	4.42	22.58	77.41
8	155.0	3.87	25.80	74.19
9	153.0	3.44	29.03	70.96
10	149.5	3.10	32.25	67.74
11	149.0	2.81	35.48	64.51
12	141.0	2.58	38.70	61.29
13	137.5	2.38	41.93	58.06
14	137.5	2.21	45.16	54.83
15	122.5	2.06	48.38	51.61
16	118.0	1.93	51.61	48.38
17	104.0	1.82	54.83	45.16
18	102.5	1.72	58.06	41.93
19	95.2	1.63	61.29	38.70
20	92.9	1.55	64.51	35.48
21	91.5	1.47	67.74	32.25
22	90.3	1.40	70.96	29.03
23	90.0	1.34	74.19	25.80
24	84.8	1.29	77.41	22.58
25	78.5	1.24	80.64	19.35
26	75.0	1.19	83.87	16.12
27	73.3	1.14	87.09	12.90
28	64.0	1.10	90.32	9.67
29	54.7	1.06	93.54	6.45
30	17.1	1.03	96.77	3.22

Cuadro 4. Probabilidades de excedencia y no excedencia de la serie anual de lluvias máximas mensuales.

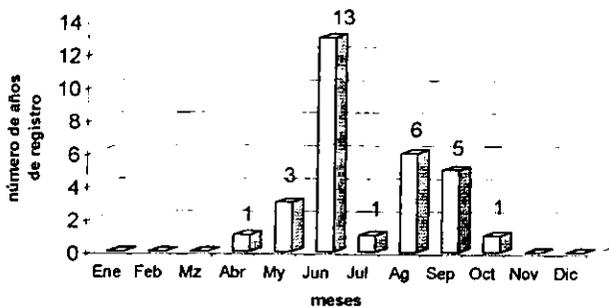
La siguiente gráfica muestra que a lo largo de 30 años partiendo de 1969 a 1998, tuvieron que transcurrir 16 años para que en 1984 en el mes de septiembre se presentará la máxima precipitación mensual, de éste lapso de tiempo con 258.1 mm., el cual es un fenómeno aislado que no se repitió en los años siguientes. Con relación a la frecuencia con la que se repiten las precipitaciones máximas, se tiene que el mes de junio es el que tuvo mas eventos (13), después por frecuencia le siguen agosto y septiembre (véase gráficas 7 y 8).

**Máximos Anuales de Precipitación
(1969 - 1998)**



Gráfica 7.

**Meses con Máximos Anuales de Precipitación
(1969 - 1998)**



Gráfica 8.

7. CONCLUSIONES

- La Subcuenca Hidrográfica de Zapotitlán se subdivide en 3 microcuencas para la parte alta y 12 microcuencas para la parte baja, de acuerdo a los parteaguas, a las barrancas y a aquellos escurrimientos que reciben el mayor número de tributarios.
- La Subcuenca de Zapotitlán se encuentra en la madurez de su evolución, indicada por el área acumulada bajo la curva hipsométrica; por la pendiente llana del río principal, por las pendientes accidentadas del relieve de las partes altas y medias de cada microcuenca, por la alta densidad de drenaje que disecciona la mayor parte del terreno y por el tipo C obtenido de la clasificación de Rosgen.
- Las microcuencas con valles más jóvenes son Miahuatepec y Cutac, presentando de la clasificación de Rosgen el tipo A, mientras que las microcuencas con valles jóvenes hacia las cabeceras y valles maduros hacia sus desembocaduras son La Calera, Agua el Temolote y El Castillo los cuales comprenden los tipos A, Aa+ y C.
- La respuesta del escurrimiento a la precipitación en la Subcuenca Baja es rápida, pero no todas las microcuencas aportan al mismo tiempo, con la misma fuerza y volumen, su contribución de descarga y carga sobre el cauce principal, por cuestiones de forma, tamaño, geología, pendiente, suelo y uso de suelo.
- Las microcuencas que presentan tiempos de concentración más breves, avenidas más impetuosas pero, menor acarreo en el volumen de agua, son las más microcuencas más pequeñas y con pendientes más pronunciadas a lo largo del tributario principal, como Miahuatepec y Cutac.
- Las microcuencas que presentan tiempos de concentración más largos, avenidas menos impetuosas, pero mayor acarreo en el volumen de agua, por ser microcuencas más grandes y por presentar un mayor número de escurrimientos de primer orden, son San Martín, Chuchuca y Metzontla.
- Las microcuencas con mayores riesgos de avenidas torrenciales por el movimiento de masas, debido a la fuerte pendiente a todo lo largo o en ciertos tramos de sus tributarios principales son, Miahuatepec, Cutac, La Calera, Agua el Temolote y el Castillo.

- La Subcuenca Baja de Zapotitlán, presenta un río principal como de segundo orden, considerando sólo los tributarios principales de cada microcuenca, indicando además que de la Relación de Bifurcación, si influye la estructura geológica en la red de drenaje, originando al patrón paralelo.
- De las microcuencas la estructura geológica afecta más marcadamente a Coahuino por su forma alargada originando un patrón de drenaje paralelo, mientras que el resto de las microcuencas aunque presentan diferentes patrones de drenaje, el que predomina es el dendrítico sin que influya en él, la estructura geológica.
- Aquellas microcuencas que presentan los requisitos para establecer áreas de captación de agua de acuerdo a FAO 1990; en una zona poblada, son las mismas áreas en curvas de nivel donde seguramente encontraremos cultivos ya establecidos, como es el caso de las microcuencas La Calera, Agua el Temolote y Chuchuca, que presentan terrenos con pendientes superiores al 5% y pendientes colectoras de agua.
- La precipitación para Zapotitlán de las Salinas de acuerdo al coeficiente de variación, 60 años no son más representativos que 30 años debido a la alta inestabilidad de la presencia de lluvias a lo largo de cada año.
- El Clima de la zona es BShw”(i’)g clima seco, semicálido, con una temperatura media anual de 21.0°C, con poca oscilación térmica entre los 5° y 7°C, la temperatura más baja de 17.6° en enero y 23.7°C en mayo como la temperatura más alta; el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano; régimen de lluvias de verano; presencia de una canícula a mitad del período de lluvias y con una precipitación media anual de 374.7 mm
- La mayor Precipitación es durante los meses de Junio y Septiembre, por lo tanto la “Deficiencia de Agua Disminuye” pero, no lo suficiente como para mantener un Exceso de Agua, debido a alta Evapotranspiración Potencial y al aumento de la cubierta vegetal por la presencia de plantas anuales.

- De Octubre a Abril la “Deficiencia de Agua Aumenta” por la ausencia o escasa presencia de lluvias durante la época invernal, por la disminución de la cubierta vegetal, y aunque la evapotranspiración potencial disminuye, la misma precipitación que pueda llegar a presentarse es la misma que se evapora, conocida como Evapotranspiración Real.
- De acuerdo al Periodo de Retorno de las lluvias máximas mensuales, existe la probabilidad de que llueva de 92. 9 a 137. 5 mm en el transcurso de dos años; 194 mm en el transcurso de 10 años y 258. 1 mm en el transcurso de 31 años en cualquier mes del período de lluvias.

8. SUGERENCIAS

- Trabajo de Campo no sólo en las microcuencas, que por sus características presentan intereses a la población en cuanto a la creación de obras de captación de agua, sino también en aquellas que presentan riesgos de material de arrastre, para conocer lo largo de sus tributarios principales, el comportamiento de los hidrogramas, por medio de estaciones de aforo.
- Trabajo de Campo en las microcuencas anteriores y a lo largo del río principal con la metodología de Rosgen 1994, para conocer de la clasificación morfológica el tipo de material de arrastre y grados de erosión a lo largo de cada cauce.
- Trabajo de Campo para conocer el grado de erosión por los sedimentos que son derivados de aquellas áreas sujetas a factores y actividades como caminos, ganadería y desmonte por minería y agricultura.
- Utilizar un Sistema de Información Geográfica, para planear en aquellas microcuencas programas de ordenación para el manejo de los recursos: suelo, uso de suelo y agua. Y sobre todo dar a conocer a la población los posibles planes de manejo.
- Realizar un estudio de análisis de agua en la subcuenca, principalmente en las microcuencas La Calera, Agua el Temolote y Chuchuca, que resultaron ideales para obras de captación de agua.

9. ANEXOS

9.1 Diagnóstico morfométrico de la subcuenca.

La caracterización hidrológica de la cuenca se realizó por medio del análisis de un mapa topográfico escala 1: 50,000 y fotointerpretación de fotografías aéreas de escala 1:20,000 y 1:75,000 además de verificación y toma de datos en campo, mediante análisis cuantitativos y cualitativos (Claver, 1982; SARH, 1988; Campos, 1992; FAO, 1992).

9.1.1 Área

El área drenada de una cuenca es el área en proyección horizontal encerrada por el parteaguas y se expresa en km^2 . Las cuencas pequeñas muchas veces se expresan en hectáreas (véase Tabla 3) El área se obtuvo por medio de mapa topográfico (1:50,000) digitalizado (ILWIS versión 2.2, 1998).

Tamaño de la Cuenca (km^2)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - Pequeña
500 a 2,500	Intermedia - Grande
2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy Grande

Tabla 3. Clasificación Propuesta para el tamaño de la Cuenca (Campos 1992).

9.1.2 Forma (Rf)

Se ha sugerido el uso de figuras geométricas como forma de referencia. Horton (citado por Linsley, 1977), sugirió un factor adimensional de forma **Rf**, como índice de la forma de una cuenca, según la ecuación:

$$Rf = A/Lb^2$$

donde: **Rf** = índice de la forma.

A = área de la cuenca (km^2).

Lb = longitud de la cuenca (km).

La longitud es medida desde la salida hasta el parteaguas, partiendo del cauce más largo en línea recta. La ecuación no implica una suposición especial de la forma de la cuenca.

Rf = < 0.5 alargada

Rf = 0.79 cuadro con salida en una esquina

Rf = 1.0 cuadro con salida en el punto medio

9.1.3 Índice de la Forma (I_f)

Es la relación que existe entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal (distancia desde el origen a la desembocadura). Esta relación permite determinar si la cuenca presenta una forma circular o alargada; después de haber obtenido el valor mediante la siguiente expresión aritmética se calcula el *inverso del valor obtenido* y si es mayor de 6 se considera alargada.

$$I_f = A/L^2$$

donde : I_f = Índice de la forma

A = Área de la cuenca (km^2)

L = Longitud del cauce principal (km.)

9.1.4 Coeficiente de Compacidad (C_c)

También conocido como Índice de Gravelius, explica la forma a partir de un valor numérico, relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área.

Explicación analítica:

$$C_c = 0.282 P / \sqrt{A}$$

donde: C_c = Índice de compacidad adimensional.

P = Perímetro de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km^2).

Más próximo a 1.0 forma de la cuenca circular.

Más próximo a 2.0 forma de la cuenca alargada.

9.1.5 Relación de Circularidad (R_c)

Miller en 1963 (citado por Cantú, 1992) encuentra la relación que existe entre el área de un círculo que tenga el mismo perímetro de la cuenca.

$$R_c = 4\pi A/P^2$$

donde: R_c = Relación de Circularidad

A = Área (km^2)

P = Perímetro (km.)

$\pi = 3.1416$

De 0.5 a 0.6 cuencas con relieves accidentados.

De 0.4 a 0.5 cuencas con marcada elongación.

9.1.6 Proporción de Elongación (P_e)

Schum en 1956 (citado por Campos, 1992) la define como el cociente adimensional entre el diámetro (D) de un círculo que tiene igual área (A) que la cuenca y la longitud (L_c) de la misma. La longitud (L_c) se define como la más grande dimensión de la Cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal.

$$P_e = 1.1284 \pi A/L_c$$

donde: P_e = Proporción de elongación.

L_c = Longitud de la Cuenca.

A = Área de la cuenca (km^2).

Valores de 0.60 a 0.80 asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

Valores cercanos a 1.0 asociado a regiones con relieve bajo.

9.1.7 Curva Hipsométrica de la Cuenca

Es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de su llamada Curva Hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

Se utilizó una malla de cuadros sobre la cuenca, de manera que 100 intersecciones quedaran dentro de ella, el número de intersecciones que caen dentro de varios rangos de elevaciones, dan una distribución de frecuencias de elevaciones; la elevación correspondiente a cada intersección de la malla es representativa a un área igual a un cuadro de ella, por lo cual la frecuencia en porcentaje se puede relacionar directamente con el área de la cuenca (Campos, 1992).

Para obtener la distribución de frecuencia de elevaciones de cada intersección primero se procedió a conocer:

- Los Intervalos de Clase que es agrupar el conjunto de datos seleccionando un conjunto de intervalos contiguos que no se traslapen, para ello se utilizó la fórmula de Sturges 1926 (citada por Wayne, 1987)

$$K = 1 + 3.322 (\log_{10} n)$$

donde:

K = número de intervalos de clase

n = número de valores en el conjunto de datos (n = 103 intersecciones)

K = $1 + 3.322 (2.0128) = 7.6866$ (la fórmula permite seleccionar la amplitud, pero no saliendo del rango en el resultado obtenido)

- La Amplitud de los Intervalos

$$W = R / K$$

R = diferencia entre la observación más pequeña y más grande en el conjunto de datos 2700 y 1400 msnm (escala mapa topográfico 1:50,000 distancia entre curvas de nivel 20 metros), (véase Tablas 2 y 3).

$$W = 2700 - 1400 / 7.0 = 180.0$$

En seguida se procedió de acuerdo a las tablas 4 y 5.

Intervalo de clase	Frecuencia de intersecciones	Área m ²
2780 - 2600	1	4,000,000
2580 - 2400	4	8,000,000
2380 - 2200	3	84,000,000
2180 - 2000	21	16,000,000
1980 - 1800	29	116,000,000
1780 - 1600	28	112,000,000
1580 - 1400	14	56,000,000

Tabla 4. Frecuencia de las intersecciones, sobre las curvas de nivel .

Elevación (msnm)	Área (Km ²)	Área Acumulada (Km ²)	Porcentaje de Área de Cuenca %
2780 – 2600	4.0	4.0	1
2580 – 2400	8.0	12.0	3
2380 – 2200	84.0	96.0	24
2180 – 2000	16.0	112.0	28
1980 – 1800	116.0	228.0	58
1780 – 1600	112.0	340.0	86
1580 – 1400	56.0	396.0	100

Tabla 5. Valores de Área para graficar la Curva Hipsométrica.

9.1.8 Elevación Media y Mediana de la Cuenca.

De igual manera se utilizó una malla de cuadros, de manera que 100 intersecciones queden comprendidas dentro de la cuenca, la elevación media se calcula como el promedio aritmético de las elevaciones de todas las intersecciones que estén dentro de la cuenca. A partir de la curva hipsométrica, se puede determinar la elevación mediana de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50 % del área de la cuenca.

9.1.9 Pendiente del Cauce Principal

La pendiente del colector principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación con las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos.

Es la relación que existe entre el desnivel en dos puntos. La pendiente del cauce influye sobre la velocidad de flujo y juega un papel importante en la forma del escurrimiento, ésta se puede obtener, de acuerdo a la fórmula:

$$S_1 = H / L$$

donde: S_1 = Pendiente del cauce principal(%)

H= Desnivel del cauce(m).

Lci = Longitud del cauce(m)

De acuerdo al valor anterior de la pendiente, se puede clasificar el relieve o topografía del terreno, según los valores propuestos por Heras (1976 citado por Campos, 1992),(ver tabla 6).

Pendiente en Porcentaje	Tipo de Terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
> 50	Muy Escarpado

Tabla 6. Pendiente con respecto al Cauce Principal (Heras, 1976).

9.1.10 Tipo de relieve con base en el área

Definido por Seyhan (1975 citado por Claver, 1982.) el coeficiente se obtiene de la siguiente forma:

$$R_a = Hm / A$$

donde: R_a = coeficiente

Hm = Diferencia hipsométrica entre el punto de máxima altitud y el punto de salida del agua de la cuenca

A = Área de la cuenca, en km

Para clasificar los resultados obtenidos en un rango (véase tabla 7).

Límites	Código	Tipo de Relieve
$0.800 \leq R_a < 6.667$	H	Accidentado
$0.200 \leq R_a < 0.800$	M	Mediano
$0.039 \leq R_a < 0.200$	L	Suave

Tabla 7. Tipo de Relieve con base en el Área (Seyhan, 1975)

9.1.11 Tipo de Pendiente del Paisaje

Publicado por Troeh en (1965 citado por Bloom 1974). Con fotointerpretación de aerofotografías escala 1:75,000 se realizó la clasificación que combina curvatura de perfil de la pendiente y curvatura de la curva de nivel, (véase figura 12).

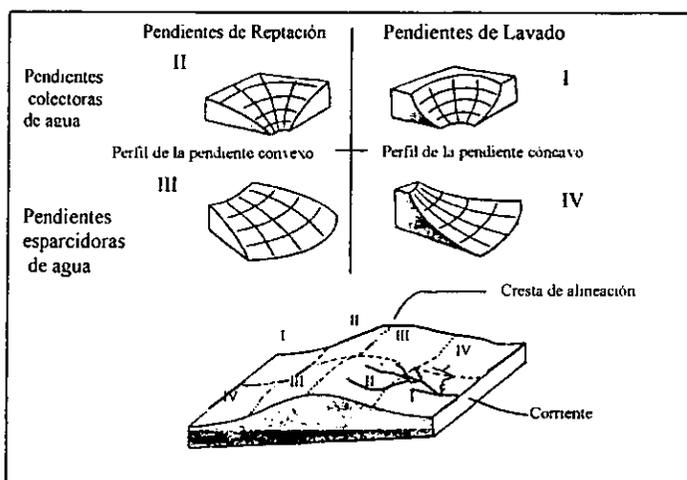


Figura 12. Clasificación de los elementos de pendiente de un paisaje con sus formas y procesos (Troeh, 1965)

Las pendientes colectoras de agua de las laderas, se dividen en Pendientes de Reptación (con perfiles convexos II) y Pendientes de Lavado Pluvial (con perfiles cóncavos I), ambas con curvas de nivel cóncavas. Las pendientes esparcidoras de agua, de igual manera se dividen en Pendientes de Reptación (con perfiles convexos III) y Pendientes de Lavado Pluvial (con perfiles cóncavos IV), ambas con curvas de nivel convexas.

Las de reptación se refieren al movimiento por arrastre de suelo o rocas, sobre todo en las partes superiores de los cerros con vegetación, puesto que la reptación es fundamentalmente un fenómeno gravitacional; la II y la III se diferencian en que las primeras concentran el material arrastrado, mientras que las segundas lo esparcen.

Las de lavado se refieren el transporte de agua cuesta debajo de una ladera en la que se han unido dos o más corrientes de agua en un gradiente más suave y que por incremento en el volumen del caudal el lavaje pluvial domina sobre la reptación del suelo debido a que la lluvia comienza a fluir sobre la superficie en vez de penetrar y lubricar el suelo; la I y la IV se diferencian en que la primera concentra el agua colectada, mientras que la segunda la esparce (Bloom, 1974).

9.1.12 Pendiente de la Subcuenca

Tiene una importante pero compleja relación, con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Según el criterio de Horton (citado por Campos, 1992) el primer paso es el establecimiento de una malla de cuadros sobre el plano de la cuenca, orientada en sentido del cauce principal. Si la cuenca es de 150 Km² o menor, se requiere por lo menos cuatro cuadros por lado, aumentado su número según crezca el tamaño de la cuenca. Enseguida se mide la longitud de cada línea de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel. La pendiente de la cuenca en cada dirección se evalúa con las ecuaciones siguientes:

$$S_x = n_x(D) / L_x$$

$$S_y = n_y(D) / L_y$$

En donde:

S_x, S_y = Pendiente adimensional de la cuenca en cada una de las direcciones de la malla de cuadros.

N_x, n_y = Número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección x e y, con las curvas de nivel respectivamente.

L_x, L_y = Longitud total de las líneas de la malla en la dirección x e y, dentro de la cuenca, en km.

D = Desnivel constante entre las curvas de nivel de la cuenca, en km.

Con fines prácticos la pendiente de la cuenca S_c , puede ser estimada como el promedio aritmético de las pendientes S_x y S_y . El resultado obtenido se clasifica de acuerdo a la propuesta siguiente dada por Storie 1970 (citado por Claver, 1982), (véase tablas 8 y 9).

Pendiente (%)	Pendiente Compleja en Varias direcciones
< 0.5	A nivel
5.0 - 2.0	Muy ligera, ondulada
3.0 - 8.0	Ondulada
9.0 - 15.0	Quebrada
16.0 - 30.0	Fuertemente ondulada
31.0 - 45.0	Colgada
> 45.0	Muy Colgada

Tabla 8. Clasificación de Pendiente de la Cuenca tomada en varios ejes (Storie, 1970).

Área de la cuenca 396 km²

No. de Línea	No. Intersecciones		Longitudes en km	
	nx	ny	Lx	Ly
1	0	30	0	4.75
2	113	100	14.45	14.15
3	197	168	23.90	20.75
4	154	112	24.10	17.65
5	188	160	21.45	19.45
6	205	189	18.15	17.45
7	0	119	0	10.50
Σ Parcial	857	878	102.05	105.00

Tabla 9. Valores para obtener la Pendiente de la Subcuenca

$$S_x = n_x(D) / L_x = 857 (0.020) / 102.05 = 0.1679 (100) = 17.00 \%$$

$$S_y = n_y(D) / L_y = 878 (0.020) / 105.00 = 0.1672 (100) = 17.00 \%$$

$$\text{Promedio Aritmético } S_c = 0.3351 / 2 = 0.1675 (100) = 17.00\%$$

9.2 Diagnóstico morfométrico de la red de drenaje.

9.2.1 Perfil y longitud del cauce principal.

El perfil de un río se obtiene llevando a una gráfica los valores de sus recorridos horizontales (abscisas) contra sus cambios de elevaciones respectivas (ordenadas) (véase tabla 10). La longitud o desarrollo longitudinal del cauce o colector principal es también una magnitud característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que en un río corto los efectos de la precipitación en la cuenca se hacen sentir más rápidamente que en un río largo. Con base en la topografía, se mide a lo largo del eje de la cuenca, sin considerar los meandros.

Elevación	Distancia km
1360 - 1400	3.90
1400 - 1500	11.50
1500 - 1600	18.40
1600 - 1700	24.40
1700 - 1800	28.25
1800 - 1900	30.00
1900 - 2000	30.55
2000 - 2100	31.20
2100 - 2200	31.80
2200 - 2260	32.05

Tabla 10. Valores de elevación por distancia para graficar el Perfil del Cauce Principal

9.2.2 Frecuencia de Corrientes

Propuesto por Horton 1945 (citado por Campos, 1992) El coeficiente de Bifurcación por sí sólo no significa nada a la hora de clasificar y comparar, ya que en el no se considera la superficie de la cuenca a estudiar, para ello se auxilia del concepto Frecuencia de Corrientes que es un indicador de la eficiencia de drenaje de una cuenca, se representa como la relación existente entre el número de corrientes y el área drenada, es decir:

$$Dc = Nc/A$$

donde:

Dc es la densidad de corrientes.

Nc es el número de corrientes.

A es el área total de la cuenca en km^2 .

9.2.3 Densidad del Drenaje

También propuesta por Horton 1945 (citada por Campos, 1992). Proporciona una información más real que la anterior, se expresa como la longitud de las corrientes por unidad de área, es decir:

$$Dd = L/A$$

donde:

A es el área total de la cuenca, en km^2 .

L es la longitud total de las corrientes perennes e intermitentes en la cuenca, en km.

Dd es la densidad de drenaje por km^2 .

9.2.4 Relación de Bifurcación (Rb)

Determinado por Strahler 1964 (citado por Claver, 1982, Campos, 1992). Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir entre mayor sea el grado de bifurcación de su drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación. A continuación se ilustra el cálculo correspondiente (ver tablas 11 y 12).

Orden n	Número	Log Nn
1	41	1.6127
2	7	0.8450
3	1	0.0000

Tabla 11. Relación de Bifurcación

Regresión Lineal $a = 2.4320$

$b = -0.8063$

$r = -0.999$

$Rb = \log^{-1} b$

$Rb = \text{antlog } b = 6.4031$ por lo tanto $>$ de 5.0

Comparar el resultado en la tabla 12.2.6b

Área	El valor obtenido de Relación de Bifurcación	Relación estructura geológica y red de drenaje
A mayor Área	< 3.0	La estructura geológica Si distorsiona la red de drenaje.
	3.0 a 5.0	La estructura geológica No distorsiona la red de drenaje.
A menor Área	> 5.0	La estructura geológica Si distorsiona la red de drenaje.

Tabla 12. Relación entre el Área y Relación de Bifurcación con respecto a la estructura geológica y red de drenaje (Campos 1992).

9.2.5 Textura entre las corrientes de primer orden

Propuesta por Way 1978 (citado por Claver, 1982). Ésta clasificación se basa en la Frecuencia de Corrientes, textura, patrón de drenaje e infiltración, todos ellos obtenidos del total de escurrimientos considerando perennes, intermitentes y efímeros; de fotointerpretación a mapa topográfico escala 1:50,000, se distinguen tres tipos especiales de drenaje:

- Cuencas de Textura Fina

Son aquellas en las que el espaciamiento medio entre tributarios y corrientes de primer orden es menor de 0.24 cm. Refleja elevados niveles de escurrentía superficial, roca madre impermeable y suelos de baja permeabilidad. Tasas Bajas de Infiltración

- Cuencas de Textura Media

El espaciamiento medio entre corrientes de primer orden oscila entre 0.24 y 2 cm. La escurrentía es media, la textura es intermedia y la permeabilidad también. Tasas Moderadas de Infiltración

- Cuencas de Textura Gruesa

El espaciamiento entre corrientes de primer orden es superior a 2 cm. La escurrentía superficial es menor, la roca es más resistente, aunque más permeable, y los suelos tienen elevada permeabilidad. Tasa Elevadas de Infiltración.

9.3 Elaboración del Mapa de Uso de Suelo

Aunque todos los factores abióticos y bióticos de una cuenca afectan la actividad del agua en un área, el más importante es el uso de suelo o manejo de la tierra por el hombre; por que la vegetación influye en el agua tanto en su interceptación, infiltración y evapotranspiración.

- Se realizó la técnica de fotointerpretación sobre fotografías escala 1:20,000 y se delimitaron áreas que presentaban homogeneidad en las formas biológicas (es decir predominancia en la fisonomía del primer estrato de vegetación) por tonalidad de color y textura del área. La superficie mínima a marcar fue de 0.5 cm².
- Se determinaron áreas que presentaban uso agrícola, pastizales inducidos y lugares con vegetación de sucesión, así como minas y salineras y sitios con erosión muy marcada.
- Posteriormente se corroboró en campo la fotointerpretación realizada y una vez hecho esto, se procedió a trasladar las áreas a un mapa topográfico que terminado se digitalizó en (ILWIS versión 2.2, 1998).

9.4 Diagnóstico Climático

9.4.1 Método racional deductivo (Campos, 1992).

Cuando no es posible disponer de datos de estaciones cercanas a la estación incompleta, o si las existentes no cuentan con observaciones de los datos, de lluvias mensuales (máximo once) de una determinada estación, existen uno o más años incompletos, apoyándose en la información que brindan los años completos se estiman los datos faltantes con el siguiente método:

Paso I. Precipitación Total Mensual = Sumatoria de precipitaciones diarias de un mes de todos los años completos

Paso II a. Precipitación Mensual Promedio = $\frac{\text{Sumatoria de precipitaciones mensuales del periodo}}{\text{Número de años completos del periodo}}$

Paso II b. Porcentaje Mensual de Precipitación = $\frac{\text{Precipitación Mensual}}{\text{Precipitación Mensual Promedio de un año}} (100)$
de todos los años completos

Al sumar los porcentajes calculados y obtener su promedio deberán de obtenerse 1,200 y 100 respectivamente

Paso III. Porcentaje Promedio = $\frac{\text{Sumatoria de Porcentaje Mensual de Precipitación}}{\text{Número de años completos del periodo}}$

Paso IV. El método acepta la hipótesis que los meses desconocidos tendrán un porcentaje igual al Porcentaje Promedio

Se designan las siguientes variables:

i = cada uno de los meses desconocidos, como máximo pueden ser once

P_i = precipitación mensual desconocida en cada año incompleto, en milímetros

ΣSi = Suma de los porcentajes promedio de los meses cuya precipitación se desconoce, en %

ΣP = suma de las precipitaciones mensuales conocidas, en los años incompletos, en milímetros

S_i = porcentaje promedio asignado a cada uno de los meses desconocidos o faltantes

Por lo cual: $P_i = \left(\frac{\Sigma P}{1,200 - \Sigma S_i} \right) S_i$

La expresión entre paréntesis es una constante para cada año, incompleto, por lo que se tiene:

$$P_i = K (S_i)$$

AÑO MES	1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998	
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Ene.	0.0	0.0	1.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb.	0.0	0.0	19.0	80.6	4.0	57.2	13.0	35.7	3.7	14.6	0.0	0.0	2.9	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mzo.	4.0	15.4	14.5	61.5	0.0	0.0	10.5	28.8	4.2	16.6	0.0	0.0	6.0	13.3	10.0	25.0	19.0	71.9	0.1	3.3
Abrl.	13.5	51.9	40.0	169.6	0.0	2.9	6.0	16.5	31.0	122.4	13.5	39.6	3.0	6.6	5.5	13.6	17.5	66.3	17.1	566.9
May.	43.7	181.8	42.5	180.2	1.0	14.3	137.5	377.6	15.5	61.2	62.5	183.5	58.0	128.2	12.0	29.8	78.0	295.3	0.0	0.0
Jun.	137.5	528.3	27.5	116.6	3.0	42.9	128.0	351.5	141.0	556.7	149.5	438.9	83.5	184.5	168.5	417.7	62.0	234.7	2.0	66.3
Jul.	43.0	165.2	57.0	241.7	5.0	71.5	12.0	33.0	35.5	140.2	46.8	137.4	74.1	163.7	100.0	248.0	5.0	18.9	3.0	99.5
Agos.	12.0	46.1	15.5	65.7	54.7	782.6	19.5	53.6	73.0	288.2	88.5	259.8	153.0	338.1	57.8	143.3	4.0	15.1	2.0	66.3
Sep.	36.0	138.3	64.0	271.4	4.0	57.2	35.0	96.11	0.0	0.0	25.0	73.4	24.5	54.1	57.3	142.0	17.0	64.4	10.0	331.5
Oct.	12.5	48.0	2.0	8.5	2.0	28.6	57.0	156.5	0.0	0.0	23.0	67.5	76.0	167.9	72.0	178.5	78.5	297.2	1.0	33.1
Nov.	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	143.0	18.5	50.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	6.6	0.0	0.0	19.0	71.9	1.0	33.1
Dic.	6.5	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.5	120.4	1.0	2.5	17.0	64.4	0.0	0.0
Suma	312.3	1200	283.0	1200	83.9	1200	437.0	1200	303.9	1200	408.8	1200	543.0	1200	484.1	1200	317	1200	36.2	1200
Prom.	26.0	100	23.6	100	7.0	100	36.4	100	25.3	100	34.1	100	45.26	100	40.3	100	216.4	100	3.0	100

MES	Suma de % de años completos	
	Suma	Prom.
Ene.	154.2	5.7
Feb.	481.5	17.8
Mzo.	924.9	34.3
Abrl.	16478.8	61.0
May.	4739.5	175.5
Jun.	7655.5	283.5
Jul.	3735.7	138.4
Agos.	4681.3	173.4
Sep.	5452.6	201.9
Oct.	2109.2	78.1
Nov.	507.1	18.8
Dic.	258.7	9.58
Suma	47278.6	1200
Prom.	3931.6	100

Tablas 13. Datos de precipitación mensual, obtenidos por el método racional deductivo (continuación)

AÑO MES	1969		1970		1971		1972 *		1973		1974		1975		1976		1977		1978		
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	
Enc.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(1.8)	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb.	4.1	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	(5.5)	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	38.1	0.0	0.0	8.5	34.4	
Mzo.	135.0	256.1	0.0	0.0	0.0	0.0	(10.6)	34.3	0.0	0.0	28.0	66.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	97.0	
Abrl.	9.0	17.1	0.0	0.0	10.0	40.0	(18.9)	61.0	14.0	35.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6	81.63	16.5	50.3	14.5	58.6	
May.	62.2	118.1	39.5	184.6	38.0	152.0	(54.4)	175.5	38.0	96.7	76.0	181.4	118.0	358.7	42.4	146.7	69.5	211.9	30.0	121.3	
Jun.	96.7	183.7	90.0	420.6	35.0	140.0	91.5	-	170.5	433.8	215.0	513.1	88.0	267.5	55.0	190.3	83.0	253.0	75.0	303.1	
Jul.	62.0	117.8	13.3	62.2	2.0	8.0	45.8	-	90.0	229.0	130.0	311.5	44.0	133.7	92.9	321.3	2.5	7.6	38.0	153.6	
Agos.	194.7	369.8	36.0	168.2	29.0	116.0	51.3	-	12.0	30.53	0.0	0.0	42.9	130.4	19.0	65.7	95.2	290.2	55.0	222.3	
Sep.	35.0	66.5	78.0	364.5	149.0	596.0	63.2	-	129.5	329.5	53.6	127.9	68.2	207.3	33.0	114.2	65.0	198.2	37.9	153.2	
Oct.	33.1	62.9	0.0	0.0	37.0	148.0	24.5	-	18.0	45.8	0.0	0.0	34.0	103.3	70.0	242.1	32.0	97.6	13.0	52.5	
Nov.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	61.0	1.0	4.0	
Dic.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	30.5	0.0	0.0	
Suma	631.8	1200	256.8	1200	300.0	1200	(371.8)	-	472.0	1200	503.1	1200	395.1	1200	346.9	1200	393.7	1200	296.9	1200	
Prom	52.7	100	24.4	100	25.0	100	-	-	39.3	100	41.9	100	32.93	100	28.91	100	32.81	100	24.7	100	

AÑO MES	1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985 *		1986 *		1987		1988	
	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%	P	%
Enc.	1.0	2.4	17.0	39.1	3.0	6.1	0.0	0.0	8.7	30.2	24.7	62.3	(1.7)	5.7	(1.8)	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Feb.	5.5	13.3	3.0	6.9	4.0	8.1	6.0	30.6	29.6	102.6	9.5	23.9	(5.3)	17.8	(6.0)	17.8	3.0	13.2	3.0	8.1
Mzo.	10.1	24.4	0.0	0.0	44.0	89.1	9.0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(10.3)	34.3	(11.0)	34.3	18.8	82.7	10.0	27.0
Abrl.	14.0	33.8	53.0	121.9	24.0	48.6	9.0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(18.3)	61.0	(19.5)	61.0	5.0	22.0	13.2	36.0
May.	42.0	101.4	85.0	195.5	100.0	202.4	68.5	349.9	28.6	99.1	19.7	49.7	(52.7)	175.5	(52.2)	175.5	122.5	538.9	66.3	179.3
Jun.	29.6	71.4	51.0	117.3	163.5	331.0	73.3	374.4	104.0	360.4	74.0	186.5	84.8	-	90.3	-	69.5	306.0	97.0	262.3
Jul.	125.0	301.6	60.0	138.0	61.2	123.9	11.2	57.2	30.1	104.3	35.7	90.0	43.6	-	38.7	-	27.0	119.0	51.0	137.9
Agos.	101.5	244.9	77.2	177.6	165.9	335.8	0.0	0.0	53.8	186.4	19.8	49.9	53.0	-	68.6	-	4.0	17.6	102.5	277.2
Sep.	155.0	374.0	172.5	396.7	26.7	54.0	16.3	83.3	57.4	199.0	258.1	650.5	57.4	-	53.2	-	23.0	101.2	77.0	208.2
Oct.	7.0	16.9	0.0	0.0	1.0	2.0	41.6	212.5	4.0	13.9	24.5	61.8	26.1	-	24.6	-	0.0	0.0	23.7	64.1
Nov.	0.0	0.0	3.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	104.3	10.1	25.5	5.3	-	5.4	-	0.0	0.0	0.0	0.0
Dic.	6.6	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	-	4.7	-	0.0	0.0	0.0	0.0
Suma	497.3	1200	521.7	1200	593.3	1200	234.9	1200	346.3	1200	476.1	1200	(362.8)	-	(376.0)	-	272.8	1200	443.7	1200
Prom	41.4	100	43.5	100	49.4	100	19.6	100	28.9	100	39.7	100	-	-	-	-	22.7	100	37.0	100

Tablas 13. Datos de precipitación mensual, obtenidos por el método racional deductivo

9.4.2 Prueba Estadística de las Secuencias (Campos, 1992).

Una serie de datos es llamada homogénea, si es una muestra de una única población y por lo tanto serán válidas las estimaciones de los parámetros poblacionales. Ésta prueba se realiza contando el número de secuencias (u) arriba o bajo la Mediana de la serie. Se marca cada valor de la precipitación anual, con una A si es mayor y con una B si es menor; las secuencias de A y B son contabilizadas (véase tabla 14) y para concluir que la serie es homogénea, el número de secuencias (u) debe estar comprendido entre el rango que marca la tabla 15.

Número de datos n	Rango de u	Número de datos	Rango de u
12	5 - 8	32	13-20
14	5 - 10	34	14-21
16	6 - 11	36	15-22
18	7-12	38	16-23
20	8-13	40	16-25
22	9-14	50	22-30
24	9-16	60	26-36
26	10-17	70	31-41
28	11-18	80	35-47
30	12-19	100	45-57

Mediana: 374.40
 $n = 30$
 $u = 18$
 El rango de $u = 12 - 19$
 Por lo tanto el registro es homogéneo

Tabla 14 Rango del número de secuencias (u) para un registro homogéneo

No.	Año	Precipitación Anual mm.	Test de Secuencias	
1	1969	631.8	A	1
2	1970	256.8	B	
3	1971	300.0	B	2
4	1972	372.8	B	
5	1973	472.0	A	3
6	1974	503.1	A	
7	1975	395.1	A	
8	1976	346.9	B	4
9	1977	393.7	A	5
10	1978	296.9	B	6
11	1979	496.7	A	7
12	1980	521.7	A	
13	1981	593.3	A	
14	1982	234.9	B	8
15	1983	346.3	B	9
16	1984	476.1	A	
17	1985	362.8	B	10
18	1986	376.0	A	11
19	1987	272.8	B	12
20	1988	443.7	A	13
21	1989	312.3	B	14
22	1990	283.0	B	
23	1991	83.90	B	
24	1992	437.0	A	15
25	1993	303.9	B	16
26	1994	408.8	A	17
27	1995	543.0	A	
28	1996	484.1	A	
29	1997	317.0	B	18
30	1998	36.2	B	

Tabla 15. Aplicación de la prueba estadística de secuencias, registro de lluvias anuales.

n	AÑO	ENERO	FEB.	MARZ.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	T. Anual
1	1969	0.0	4.1	135.0	9.0	62.2	96.7	62.0	194.7	35.0	33.1	0.0	0.0	631.0
2	1970	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	90.0	13.3	36.0	78.0	0.0	0.0	0.0	256.8
3	1971	0.0	0.0	0.0	10.0	38.0	35.0	2.0	29.0	149.0	37.0	0.0	0.0	300.0
4	1972	(1.8)	(5.5)	(10.6)	(18.9)	(54.4)	91.5	45.8	51.3	63.2	24.5	4.2	0.1 inap	371.8
5	1973	0.0	0.0	0.0	14.0	38.0	170.5	90.0	12.0	129.5	18.0	0.0	0.0	472.0
6	1974	0.0	0.0	28.0	0.0	76.0	215.0	130.5	0.0	53.6	0.0	0.0	0.0	503.1
7	1975	0.0	0.0	0.0	0.0	118.0	88.0	44.0	42.9	68.2	34.0	0.0	0.0	395.1
8	1976	0.0	11.0	0.0	23.6	42.4	55.0	92.9	19.0	33.0	70.0	0.0	0.0	346.9
9	1977	0.0	0.0	0.0	16.5	69.5	83.0	2.5	95.2	65.0	32.0	20.0	10.0	393.7
10	1978	0.0	8.5	24.0	14.5	30.0	75.0	38.0	5.5	37.9	13.0	1.0	0.0	296.9
11	1979	1.0	5.5	10.1	14.0	42.0	29.6	125.0	101.5	155.0	7.0	0.0	6.0	496.7
12	1980	17.0	3.0	0.0	53.0	85.0	51.0	60.0	77.2	172.5	0.0	3.0	0.0	521.7
13	1981	3.0	4.0	44.0	24.0	100.0	163.5	61.2	165.9	26.7	1.0	0.0	0.0	593.3
14	1982	0.0	6.0	9.0	9.0	68.5	73.3	11.2	0.0	16.3	41.6	0.0	0.0	234.9
15	1983	8.7	29.6	0.0	0.0	28.6	104.0	30.1	53.8	57.4	4.0	30.1	0.0	346.3
16	1984	24.7	9.5	0.0	0.0	19.7	74.0	35.7	19.8	258.1	24.5	10.1	0.0	476.1
17	1985	(1.7)	(5.3)	(10.3)	(18.3)	(52.7)	84.8	43.6	53.0	57.4	26.1	5.3	4.3	362.8
18	1986	(1.8)	(6.0)	(11.0)	(19.5)	(52.2)	90.3	38.7	68.6	53.2	24.6	5.4	4.7	376.0
19	1987	0.0	3.0	18.8	5.0	122.5	69.5	27.0	4.0	23.0	0.0	0.0	0.0	272.8
20	1988	0.0	3.0	10.0	13.2	66.3	97.0	51.0	102.5	77.0	23.7	0.0	0.0	443.7
21	1989	0.0	0.0	4.0	13.5	47.3	137.5	43.0	12.0	36.0	12.5	0.0	0.0	312.3
22	1990	1.0	19.0	14.5	40.0	42.5	27.5	57.0	15.5	64.0	2.0	0.0	0.0	283.0
23	1991	0.0	4.0	0.0	0.2 inap	1.0	3.0	5.0	54.7	4.0	2.0	10.0	0.0	83.90
24	1992	0.0	13.0	10.5	6.0	137.5	128.0	12.0	19.5	35.0	57.0	18.5	0.0	437.0
25	1993	0.0	3.7	4.2	31.0	15.5	141.0	35.5	73.0	0.0	0.0	0.0	0.0	303.9
26	1994	0.0	0.0	0.0	13.5	62.5	149.5	46.8	88.5	25.0	23.0	0.0	0.0	408.8
27	1995	4.5	2.9	6.0	3.0	58.0	83.5	74.1	153.0	24.5	76.0	3.0	54.5	543.0
28	1996	0.0	0.0	10.0	5.5	12.0	168.5	100.0	57.8	57.3	72.0	0.0	1.0	484.1
29	1997	0.0	0.0	19.0	17.5	78.0	62.0	5.0	4.0	17.0	78.5	19.0	17.0	317.0
30	1998	0.0	0.0	0.1 inap	17.1	0.0	2.0	3.0	2.0	10.0	1.0	1.0	0.0	36.2
Media Mensual del Período		2.17	4.89	12.64	13.66	55.33	91.31	46.20	52.00	62.73	24.60	5.70	3.47	Med.Anu. periodo 374.7 mm

Tabla 16 Precipitación total mensual.

Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Lat. 18°20' Long. 97°28' Altitud 1520 msnm. Periodo de 1969 a 1998.

n	AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC	Med.Annual
1	1969	16.9	21.2	22.3	24.3	25.2	25.5	23.5	22.6	22.2	22.4	19.2	15.6	21.7
2	1970	16.2	16.9	21.8	25.2	23.3	23.9	22.5	22.8	22.0	22.3	15.8	14.5	20.6
3	1971	17.7	18.4	21.3	22.1	24.4	23.7	22.5	22.9	23.2	21.6	19.5	18.3	21.3
4	1972	17.6	18.8	21.8	23.0	23.7	22.8	21.6	22.3	22.2	20.9	19.1	17.8	23.4
5	1973	16.1	17.2	20.5	20.4	20.9	19.5	17.7	18.7	28.4	18.7	17.0	14.3	19.1
6	1974	15.2	15.4	18.2	19.6	20.6	18.1	19.7	22.1	22.0	19.0	18.2	18.0	17.0
7	1975	17.3	20.0	23.1	24.5	24.1	22.0	21.2	22.4	20.2	20.1	18.6	16.9	20.8
8	1976	16.4	17.2	21.7	23.7	23.7	22.7	21.4	21.9	22.8	20.9	19.1	18.4	20.8
9	1977	17.8	19.3	22.6	21.4	23.5	22.1	22.0	22.8	22.7	22.0	19.4	18.6	21.1
10	1978	17.5	18.4	20.9	24.0	24.5	21.9	21.8	22.4	22.2	20.4	20.5	19.3	21.1
11	1979	17.8	19.1	22.1	22.7	23.7	22.6	22.5	21.5	20.6	19.9	18.7	17.5	20.7
12	1980	18.2	19.5	22.5	22.5	24.9	22.5	22.5	22.0	21.7	20.5	18.4	19.0	21.0
13	1981	16.2	18.4	21.7	22.8	24.2	22.2	21.5	21.8	22.0	21.8	18.3	18.8	20.8
14	1982	18.2	20.1	22.2	24.6	24.4	23.6	21.9	22.5	23.0	21.8	20.0	18.3	21.7
15	1983	17.6	18.1	20.6	23.5	25.4	24.5	22.4	22.4	23.2	21.0	21.4	19.3	21.6
16	1984	18.0	19.6	21.9	24.7	23.6	22.7	21.7	22.3	21.0	20.9	18.8	18.4	21.1
17	1985	18.0	19.1	22.2	23.2	23.9	23.0	20.9	22.5	21.9	21.0	19.4	18.3	22.8
18	1986	18.2	19.2	22.2	23.2	23.9	23.2	21.9	22.6	22.0	21.1	19.5	18.4	23.7
19	1987	16.9	18.2	21.5	22.0	23.3	22.7	21.8	22.5	23.7	19.6	19.2	19.5	20.9
20	1988	17.5	18.4	22.4	22.9	23.5	22.5	21.9	21.7	21.8	20.9	20.1	18.4	20.9
21	1989	19.1	18.5	20.9	22.5	23.8	23.2	21.8	29.1	21.8	21.1	21.1	19.5	21.8
22	1990	18.1	20.4	21.2	23.5	24.5	23.2	22.5	22.9	23.1	22.0	19.0	17.8	21.5
23	1991	20.0	20.4	23.1	25.0	25.5	24.5	22.0	22.4	21.5	21.0	18.7	18.0	21.8
24	1992	20.4	19.1	22.4	22.7	21.8	22.7	22.1	22.4	21.7	21.0	19.7	17.7	21.1
25	1993	18.4	19.2	21.4	23.4	23.4	22.8	21.1	21.2	21.3	20.9	19.7	19.2	20.9
26	1994	18.9	20.4	22.2	23.0	23.0	21.9	21.8	22.0	21.2	22.2	20.3	18.8	21.3
27	1995	19.3	20.0	21.6	23.8	24.9	23.2	21.3	21.7	21.5	22.2	19.6	17.8	21.4
28	1996	16.3	18.8	30.1	22.5	23.3	22.3	21.0	22.7	22.2	20.5	17.9	17.0	20.3
29	1997	17.3	19.0	21.4	22.3	22.1	23.1	22.3	22.4	22.1	20.4	19.4	17.7	20.8
30	1998	18.4	19.0	21.0	23.0	25.0	27.5	22.0	22.5	21.0	20.5	19.5	17.5	21.4
	Media Mensual del Período	17.6	18.8	21.8	23.0	23.7	22.8	21.6	22.3	22.2	20.9	19.1	17.8	Med.Anu. periodo
														21.00

Tabla 17. Temperatura media mensual.

Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Lat. 18°20' Long. 97°28' Altitud 1520 msnm. Periodo de 1969 a 1998.

9.4.3 Coeficiente de variación (Cv) (Campos, 1992).

Los Promedios Mensuales y Anuales son representativos en sitios donde el Cv es bajo y donde es alto se requieren periodos de registro de más de 30 años.

Un Cv menor de 0.20 indica una aceptable longitud de la serie y una moderada variabilidad.

Un Cv mayor de 0.25 indica que la serie de datos de lluvia anual es muy corta para obtener de ella estimaciones confiables, o que la lluvia es altamente variable (Wayne, 1987).

9.4.4 Serie anual de máximos (Campos, 1992).

Está integrada por los eventos máximos de cada año, presenta una base teórica sólida para la extrapolación de los eventos, a través del concepto de Período de Retorno (Tr) se define como el lapso promedio entre la ocurrencia de un evento igual o mayor que una magnitud dada, y es estimado de acuerdo a:

$$Tr = n + 1 / m$$

Tr = Período de Retorno en la Serie Anual de Máximos, en años

n = Número total de eventos en la serie anual, igual al número de años de registro

m = Número de orden del evento, arreglado en forma decreciente, es decir uno para el mayor y n para el menor

Una Excedencia es un evento con una magnitud igual o mayor que un cierto valor, es la probabilidad de que un evento ocurra en cualquier año, en la práctica es sinónimo de Período de Retorno.

$$P(X \geq x) = 1 / Tr$$

$P(X \geq x)$ = Probabilidad de Excedencia, en porcentaje

Entonces la probabilidad de Excedencia $P(X \geq x)$, de No Excedencia $P(X \leq x)$ y el Período de Retorno Tr están relacionados.

$$P(X \leq x) = m / n + 1 \quad (100)$$

$P(X \leq x)$ = Probabilidad de No Excedencia, en porcentaje

n = Número de orden del dato, arreglados en forma creciente, es decir uno para el menor y n para el mayor

Estación: Zapotitlán de las Salinas

Periodo de Observación: Temperatura 30 años (1969 – 1998)

Precipitación 30 años (1969 – 1998)

Localización: Estado de Puebla

Población: Municipio de Zapotitlán de las Salinas

Latitud Norte: 18°20'

Longitud Oeste: 97°28'

Altura: 1520 msnm

CONCEPTO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Valor Anual
Precip. media (cm)	0.22	0.49	1.26	1.37	5.53	9.13	4.62	5.20	6.27	2.46	0.57	0.35	PR = 37.47
Temp. Media (°C)	17.6	18.8	21.8	23.0	23.7	22.8	21.6	22.3	22.2	20.9	19.1	17.8	T°C = 21.0
Indice de Calor	6.72	7.43	9.29	10.08	10.55	9.95	9.17	9.62	9.55	8.72	7.61	6.84	ICA = 105.53
EVP Sin Correg. (cm)	5.24	6.10	8.60	9.74	10.44	9.54	8.42	9.06	8.97	7.80	6.33	5.38	
Factor de Corrección x lat.	0.96	0.90	1.03	1.05	1.12	1.10	1.13	1.10	1.02	1.00	0.94	0.95	
EVP Corregida (cm)	5.03	5.49	8.86	10.23	11.69	10.49	9.51	9.97	9.15	7.80	5.95	5.11	EVPcorr. = 99.28
EVReal (cm)	0.22	0.49	1.26	1.37	5.53	9.13	4.62	5.20	6.27	2.46	0.57	0.35	EVR = 37.47
Déficit de Agua (cm)	4.81	5.00	7.60	8.86	6.16	1.36	4.89	4.77	2.88	5.34	5.38	4.76	DEF = 61.81
Excedencia Agua (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	EXC = 0.0
Relación Pluvial (cm)	-0.96	-0.91	-0.86	-0.87	-0.53	-0.13	-0.51	-0.48	-0.31	-2.17	-0.90	-0.93	PR < EVP
Mov. Humedad Suelo (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	MH = 0.0

Tabla 18. Sistema de clasificación climática de Thornthwaite (Claver, 1982, SARH, 1987).

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, M. F. J.**, 1994. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa. México.
- Baker, M. B. Jr.**, J.D. Benavides y E. Talavera, 1994a. *Relaciones entre la Precipitación Pluvial y el Escurrimiento de la Cuenca del Arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco. México*, USDA. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR. Fort Collins, Co.EUA. p. 142-147.
- Baker, M. B. Jr.**, Y Chávez-Huerta, L.A. Medina y S. Dudley, 1994b. *Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la evaluación de la Cuenca del Arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco. México*. USDA. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR. Fort Collins, Co.EUA. p. 131-141.
- Blij, H.J. & Muller O.P.**, 1993. *Physical Geography of the Global Environmental*. Jonh Wiley & Sons. Inc. 576 pp.
- Bloom, L. A.**, 1974. *La superficie de la tierra*. Omega. Barcelona, España. 150 pp.
- Calderon, G. A.**, 1956. *Bosquejo Geológico de la Región de San Juan Raya, Puebla*, Congreso Geológico Internacional. 20 ses. México. p. 5 - 41.
- Campos, A. D. F.**, 1992. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Cantú, M. H.**, 1992. *Estudio y diagnóstico de las cuencas hidrológicas: La Chiripa, El Charquillo y San Fco. de los Desmontes, ubicadas en el municipio de DR. Arroyo N.L.*, Tesis de Ingeniero Agrícola. U.A.N.L. Facultad de Agronomía. México.
- Cardoza, V. R. y G. A. Sánchez**, 1989. *La Cuenca Hidrográfica, Unidad Básica para el manejo integral de los Recursos Naturales*. Ponencia presentada en el Congreso Forestal Mexicano. México. p. 382 - 385.
- Carta Topográfica, 1984a** . INEGI. E14 B75. TEHUACAN.escala 1:50,000
- Carta Topográfica, 1984b**. INEGI. E14 B85. ATZUMBA.escala 1:50,000
- Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1983**. INEGI. E14 - 6. ORIZABA. escala 1:250,000
- Carta Edafológica, 1983**. INEGI. E14 - 6. ORIZABAescala 1:250,000
- Claver, F.I.**, 1982. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico, contenido y metodología. serie de manuales no.3. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo*. CEOTMA (Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente). Madrid.

- Colegio de Postgraduados**, 1991. *Manual de Conservación del suelo y del Agua. Instructivo*. 3a. ed. C.P.,SARH., SPP. Chapingo, México. 248 pp.
- Derruau, M.**, 1978. *Geomorfología*. 2a.ed. Ariel. Barcelona. p. 65 - 151.
- Espinoza, A. J., L. A. Medina y R.A. Gómez-Tagle**, 1994. *Clasificación Morfológica de los Canales de la Cuenca del Arroyo El Carrizal. Tapalpa, Jalisco, México*. USDA. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR. Fort Collins, Co.EUA. p. 161-165.
- FAO**, 1990. *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles*. Guía FAO Conservación 13/5. Roma. 234 .
- FAO**, 1992. *Manual de Campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Guía FAO Conservación 13/1. Roma. 185 pp.
- FAO**, 1996. *Planificación y Ordenación de cuencas hidrográficas con ayuda de computadora. Tecnologías para la planificación nacional*. Guía FAO Conservación 28/1. Roma. 94 pp.
- Fuentes, A.L.**, 1970. *Los climas estacionales del estado de Puebla, según la clasificación de C. Troll*. Boletín del Instituto de Geografía. no.3. UNAM. México. p. 7 - 22.
- Fuentes, A.L., R.R. López y M. C. Soto**, 1971. *Metodología para el Análisis Geográfico de la Zona de San Juan Raya (Municipio de Zapotitlán, Puebla)*. Boletín del Instituto de Geografía. no. 4. UNAM. México. p.323 - 368.
- García, E.** 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana)*. UNAM. México. 252 pp.
- García, E.**, 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía UNAM, México.
- García, O.F.**, 1991. *Influencia de la Dinámica de Paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca del Río Zapotitlán, Puebla*. Boletín de Investigaciones Geográficas. vol. 23. UNAM.
- Gandía, S. y J. Meliá**, 1993. *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Climatología y Desertificación*. Universidad de Valencia. Departamento de Termodinámica. España. 308 pp.
- Hudson, N.**, 1982. *Conservación del suelo y del agua*. Reverté. Barcelona. España. 335 pp.

ILWIS 2.2, 1998. for Winndows, *The Integrated Land and Water Information System*. International Institute for Aerospace Survey & Earth Ciencias. Enschede, The Netherlands.

INEGI, 1990a. *Guías para la interpretación de cartografía. Climatología*. México. 50 pp.

INEGI, 1990b. *Guías para la interpretación de cartografía. Uso de Suelo*. México.

INE-SEMARNAP, 1997. (Instituto Nacional de Ecología). *Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán*. Documento.11868.México.

Kirkby, M.J. y R.P.C. Morgan, 1984. *Erosión de Suelos*. Limusa. México. 375 pp.

Leet, L. D., 1993. *Fundamentos de Geología Física*. Limusa. Grupo Noriega. 12ª ed. México.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1997. *LEGEEPA y disposiciones complementarias*. 13a. de. Porrúa. México. 714 pp.

Linsley, K.P., 1977. *Hidrología para Ingenieros*. Calipso. 2a. ed.México D.F.

Longwell, R.C. & F. R. Flint, 1991. *Geología Física*. Limusa.México. 545 pp.

López, G. J., 1991. *Levantamiento Semidetallado de la Cuenca Baja del Río Pílon-Casillas, N.L.*. Tesis de Doctorado en Ciencias. UNAM. Facultad de Ciencias. México.

López, G.A., 1992. *Escorrentía en Pequeñas Cuencas Hidrológicas con Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco*, Tesis de Licenciatura. UNAM. ENEP Iztacala. México.

Maderey, R.L.E. , 1972. *Balance Hidrológico de la Cuenca del Río Tizar durante el Período 1967-1968*.UNAM. Instituto de Geografía.México.133 pp.

Maderey, R.L.E. ,1992. *Problemas Hidrológicos en cuencas hidrográficas*. Instituto de Geografía. Boletín Informativo de Ciencias de la Tierra. Geo UNAM. Vol. 1. No. 3 p. 5 – 7.

Madrigal, H.L. Y. Chávez-Huerta, y D.G. Neary. 1994. *Sedimentos Derivados de los caminos en la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México*. USDA. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-GTR. Fort Collins, Co.EUA. p. 189 - 201.

Ortega, R.J.M., 1996. *Caracterización de la Cuenca del Río Chiquito de Morelia, Michoacán, México, por medio de un Sistema de información Geográfica*. Tesis de Licenciatura. UNAM. ENEP. Iztacala. México.

Osorio, B. O. 1996. *Tipos de vegetación y diversidad B en el valle se Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México*. Bol. Soc. Bot. México. 59: 35 - 58

- Ovadia, S.**, 1976. *Descripción Física de la Cuenca Atoyac-Zahuapan y Análisis de las Alternativas de Solución, para el Restablecimiento del Equilibrio Ecológico*. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Ciencias. México.
- Perozo, A.I.**, 1960. *Datos Hidrométricos y Estudios hidrológicos necesarios para la Planeación de Obras Hidráulicas de Usos Múltiples*. Tesis de licenciatura. UNAM. Facultad de Ingeniería. México.
- Rhind, B.R.**, 1989. *Why GIS ?*. ARC News. Environmental Systems Research Institute. Inc. Vol. 11, No. 3
- Rosgen, D.L.**, 1994. *A classification of natural rivers*. Catena. 22: 169 – 199.
- SARH**, 1987. *Instructivo para el análisis de información agroclimática*. Subsecretaría del Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Dirección General de Normatividad Agrícola. México.
- SARH**, 1988. *Diagnóstico del Manejo de cuencas*. Subsecretaría del Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Dirección General de Normatividad Agrícola. México.
- Sharma, K.D.**, 1998. *The hydrological indicators of desertification*. J. Arid Environments. 39: 121 – 132.
- Skinner, Brian J. & Porter, Stephen C.**, 1987. *Physical Geology*. Wiley. USA. Cap. II. p. 269-303.
- Secretaría de Gobernación**. 1988. *Los Municipios de Puebla*. Enciclopedia de los Municipios de México. p. 1136 - 1139.
- SEMARNAP**, 1995. *Programa del Medio Ambiente 1995-2000*.
- SEMARNAP**, 1996. *Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000*.
- Springall, G.R.**, 1970. *Hidrología*. Primera parte. Instituto de Ingeniería. UNAM: México. No. D - 7. p. 2 – 27.
- Strandberg, H.C.**, 1975. *Manual de Fotografía Aérea*. Omega. Barcelona, España. 260 pp.
- Wayne, W. D.** 1987. *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa. Noriega Editores. 3ª. ed. 667 pp.
- Wisler, C.O.**, 1959. *Hidrología*. 2ª. ed. John Wilet & Sons. USA.
- Zavala, H. J.A.**, 1980a. *Estudios Ecológicos en el Valle Semiárido de Zapotitlán de Las Salinas, Puebla, Clasificación de la Vegetación*. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Ciencias. México.
- Zavala, H. J.A.** 1982b. *Estudios Ecológicos en el Valle Semiárido de Zapotitlán, Puebla*. Biótica. 7(1):88-117.