

INTERPRETACION DE LOS ELEMENTOS CLIMATICOS EN LA  
EVOLUCION MORFOLOGICA DE LA CUENCA BAJA DEL RIO  
TEPEJI, HGO.

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA  
MAGDALENA MEZA SANCHEZ  
TESIS PROFESIONAL  
COLEGIO DE GEOGRAFIA,  
FACULTAD DE FILOSOFIA Y  
LETRAS, U.N.A.M.

1976

- 17158



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.

**1 5 2 1**

Portada; Diseño: GULLERMO MEZA A.

Para PEPITA Y GUILLERMO

Con cariño

A mis HERMANOS

A mis AMIGOS

A mi Tío EVARISTO

Con admiración.

Con mi agradecimiento profundo, dedico esta tesis a mi asesor Lic. Jorge F. Cervantes Borja, por su dirección y orientación dentro del campo de la investigación, y a los Maestros Gilberto Hernández Corzo y Rubén López Recéndez, por sus valiosas indicaciones.

Hago constar mi agradecimiento a las siguientes personas:  
Dra. Ma. Teresa Gutiérrez de MacGregor, Directora del Instituto de Geografía, U.N.A.M., por las facilidades prestadas para la realización de la misma; Sr. Carlos Jaso Vega, por la revisión de la tesis; Srta. Oralia Oropeza Orozco, por su valiosa ayuda; y a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron a su realización.

## G U I O N G E N E R A L

- 1.0.0.0 Introducción
  - 1.0.0 Justificación y objetivos del estudio
  - 2.0.0 Metodología
    - 2.1.0 Geología, suelos y vegetación
    - 2.2.0 Clima
    - 2.3.0 Morfometría y dinámica fluvial
- 2.0.0.0 El marco geográfico y características del medio natural
  - 1.0.0 Localización
  - 2.0.0 Marco estructural
    - 2.1.0 La zona montañosa
    - 2.2.0 La zona de elevaciones medias o talud de transición
    - 2.3.0 La zona baja
  - 3.0.0 Litología
    - 3.1.0 Rocas ácidas e intermedias
    - 3.2.0 Rocas volcánicas básicas
    - 3.3.0 Depósitos volcánicos heterogéneos
    - 3.4.0 Tobas estratificadas
    - 3.5.0 Aluviones
  - 4.0.0. Suelos
    - 4.1.0 Unidad de litosoles
    - 4.2.0 Unidad de andosoles
    - 4.3.0 Unidad de luvisoles
    - 4.4.0 Asociaciones de suelos
      - 4.4.1 Asociación de Th + To
      - 4.4.2 Asociación de To + Lc
      - 4.4.3 Asociación de Lc + Hh + I
      - 4.4.4 Asociación de Hh + Hc

- 4.4.5 Asociación de Hh + Vp
- 4.4.6 Unidad de fluvisoles
- 5.0.0 Vegetación
  - 5.1.0 La vegetación nativa
  - 5.2.0 La vegetación degradada
  - 5.3.0 La vegetación inducida
  - 5.4.0 La vegetación introducida
  - 5.5.0 Distribución actual de la vegetación
- 3.0.0.0 El sistema climático
  - 1.0.0 Características de la información considerada
  - 2.0.0 Determinación de tipos y subtipos climáticos
    - 2.1.0 Interpretación de resultados
    - 2.2.0 La circulación de verano
    - 2.3.0 La circulación de invierno
    - 2.4.0 La marcha anual de la temperatura
    - 2.5.0 Periodos y tipos de precipitación
    - 2.6.0 Zonificación climática
- 4.0.0.0 Dinámica y características de las variables meteorológicas
  - 1.0.0 La precipitación
    - 1.1.0 Los tipos de precipitación
      - 1.1.1 Precipitación orográfica
      - 1.1.2 Precipitación de tipo ciclónico
      - 1.1.3 Precipitaciones por convección o convectivas
    - 1.2.0 Otras fuentes de humedad
    - 1.3.0 Cálculo del valor medio de la precipitación
  - 2.0.0 Temperatura del aire
    - 2.1.0 Cálculo del gradiente térmico
    - 2.2.0 Isotermas medias, máximas y mínimas
  - 3.0.0 El mesoclima



- 3.1.0 Zona templada seca
- 3.2.0 Zona fresca
- 3.3.0 Zona semifría
- 3.4.0 Zona fría
  
- 5.0.0.0 Morfometría
  - 1.0.0 Morfometría de la cuenca
    - 1.1.0 Area de la cuenca
    - 1.2.0 Pendiente media de la cuenca
    - 1.3.0 Altitud media de la cuenca
    - 1.4.0 Coeficiente de compacidad
    - 1.5.0 Factor de forma
    - 1.6.0 Coeficiente de masividad
    - 1.7.0 Coeficiente orográfico
    - 1.8.0 Coeficiente erosivo
  
- 5.2.0.0 Morfometría fluvial
  - 2.1.0 Red de drenaje
    - 2.1.1 Clase de corrientes
    - 2.1.2 Orden de las corrientes
    - 2.1.3 Longitud de los tributarios
    - 2.1.4 Densidad del avenamiento
    - 2.1.5 Relación de bifurcación
    - 2.1.6 Pendiente del cauce
  - 2.2.0 Conclusión
  
- 6.0.0.0 El sistema hidrodinámico
  - 1.0.0 Balance hídrico
    - 1.1.0 Escorrentía y escurrimiento
    - 1.2.0 Infiltración
    - 1.3.0 Evaporación

- 1.3.1 Cálculo de la evaporación
- 1.4.0 Evapotranspiración potencial
  - 1.4.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial
- 1.5.0 Conclusión
- 2.0.0 Dinámica fluvial
  - 2.1.0 Río Los Sabios
    - 2.1.1 Dinámica del río
  - 2.2.0 Río El Orc
    - 2.2.1 Dinámica del río
  - 2.3.0 Río Los Arcos
    - 2.3.1 Dinámica del río
  - 2.4.0 Conclusión
- 7.0.0.0 Conclusiones y recomendaciones.

## GUIÓN DE GRÁFICAS, TABLAS Y MAPAS

Gráfica No.	1	Climograma de la estación Presa El Tigre
Gráfica No.	2	Climograma de la estación Presa Requena
Gráfica No.	3	Climograma de la estación Tepeji del Río
Gráfica No.	4	Climograma de la estación Presa Taxhimay
Gráfica No.	5	Termograma de la estación Presa El Tigre
Gráfica No.	6	Termograma de la estación Presa Requena
Gráfica No.	7	Termograma de la estación Tepeji del Río
Gráfica No.	8	Termograma de la estación Presa Taxhimay
Gráfica No.	9	Estación hidrométrica Tepeji
Gráfica No.	10	Perfiles longitudinales de los ríos principales
Gráfica No.	11	Representación gráfica de las subcuencas
Tabla No.	1	Resumen de los datos climáticos de la cuenca
Tabla No.	2	Cálculo de la precipitación media por el método de " Polígonos de Thiessen "
Tabla No.	3	Cálculo de la precipitación media por el método de " Mapa de isoyetas "
Tabla No.	4	Distribución de la precipitación media por subcuencas
Tabla No.	5	Características de las estaciones base para el mesoclima
Tabla No.	6	Datos básicos de la zonificación mesoclimática
Tabla No.	7	Gasto medio en $m^3$ /seg y volumen mensual en miles de $m^3$
Tabla No.	8	Distribución del escurrimiento medio por subcuencas
Tabla No.	9	Distribución de la infiltración media por subcuencas
Tabla No.	10	Cálculo de la evaporación media por el método de " Isoatmómetras "

- Tabla No. 11 Distribución de la evaporación por subcuencas  
Tabla No. 12 Evaporación y evapotranspiración potencial  
Tabla No. 13 Porcentaje mensual de horas de luz " p ", para los paralelos 18° y 20° latitud Norte, y el promedio entre ambas.  
Tabla No. 14 Valores mensuales de K, para diversas zonas cultivadas (según Blaney y Criddle )  
Tabla No. 15 Cálculo de la evapotranspiración potencial media por el método de " isolíneas de ETP "  
Tabla No. 16 Distribución de la evapotranspiración potencial por subcuencas

- Mapa No. 1 Localización de la cuenca baja del río Tepeji  
Mapa No. 2 Tipos y subtipos climáticos  
Mapa No. 3 Isoyetas medias anuales  
Mapa No. 4 Isotermas medias anuales  
Mapa No. 5 Isotermas máximas anuales  
Mapa No. 6 Isotermas mínimas anuales  
Mapa No. 7 Zonificación mesoclimática  
Mapa No. 8 Isoatmómetras  
Mapa No. 9 Isolíneas de evapotranspiración potencial

## 1.0.0.0 Introducción

### 1.0.0 Justificación y objetivos del estudio.

Dentro del campo de la hidrología existen diversos métodos para el análisis de una cuenca fluvial; sin embargo, éstos, por haberse desarrollado más en el campo de la ingeniería hidráulica, tienen la desventaja de considerar el funcionamiento del medio natural, con el mecanismo rígido, de modelos físicos o matemáticos que no siempre interpretan la problemática general que rige la evolución morfogenética de las cuencas fluviales. Además, dichos estudios, para ser funcionales, requieren de una vasta información puntual de alta calidad, de la que nuestro país carece en gran medida. Son, por tanto, métodos sumamente costosos por los requerimientos físicos, materiales y humanos que demandan, que sólo son redituables a nivel de grandes cuencas. Sin embargo, nuestra situación exige ya políticas de manejo de cuencas medianas y pequeñas; puesto que, como hemos visto hasta ahora, la política de manejo para grandes cuencas fluviales, como la del Papaloapan, Balsas, Pánuco, etc, han fallado por múltiples causas, una de las cuales es, precisamente, el desconocimiento que se tiene de las subcuencas; por tanto, necesitamos ahora de metodologías prácticas que permitan un manejo óptimo de las cuencas fluviales menores, en las que los requerimientos, aun a nivel experimental, son asequibles y sus resultados accesibles a programas de planeación local y regional.

Por lo anterior, se pensó en hacer este estudio en una cuenca pequeña, con datos de mala calidad e insuficientes, que constituye una muestra típica del país, a fin de ensayar una metodología que nos lleve a obtener, con el menor costo global los

conocimientos que se requieren en el manejo y aprovechamiento óptimo de sus elementos; todo lo anterior, con la idea de que, si esto es positivo, se pueda llegar a afinar cada vez más la relación costo-beneficio entre la investigación y su aplicación.

Así, la metodología generada en este estudio forma parte del ensayo teórico-experimental que realiza un grupo de investigadores de la sección de Geomorfología del Instituto de Geografía de la U.N.A.M., para definir el campo de acción utilitario de la disciplina, en el manejo integral del medio natural.

Por lo que antecede, se escogió para estudio la cuenca baja del río Tepeji, cuya ubicación colindante con la cuenca de México, que es motivo de investigación general por la sección de Geomorfología, permitirá, además, la comparación y discusión de resultados dentro del marco regional que caracteriza esta parte del país.

## 2.0.0 Metodología

La geomorfología climática juega un papel importante en los estudios hidrológicos, ya que los procesos morfogenéticos, que en gran medida determinan directamente las condiciones hidrológicas de un área determinada, están influidos por fenómenos climáticos, todo lo cual condiciona, junto con otros elementos, el escurrimiento superficial, la infiltración y las corrientes subterráneas.

De acuerdo con lo anterior, el análisis del trabajo parte del conocimiento particularizado de los principales fenómenos climáticos que es necesario considerar en los análisis hidrodi-

micos, enfatizando el tratamiento que es útil dar a fin de integrarlos funcionalmente al sistema operativo de la cuenca. Posteriormente se integra y valora el parámetro climático, respecto de la morfogénesis, para concluir con la influencia que ambos tienen en la hidrodinámica. A continuación presentamos el tratamiento que se dio a los principales rubros tratados.

#### 2.1.0 Geología, suelos y vegetación.

Estos parámetros fueron considerados en forma paralela, aunque secundaria al funcionamiento de la hidrodinámica. Así, del carácter geológico sólo se analizó la litología en función de su grado de confinamiento, permeabilidad y resistencia al escurrimiento.

Los suelos fueron estudiados de acuerdo con su grado de resistencia, degradación y permeabilidad.

La vegetación fue usada en función de su cobertura y su grado de restricción del escurrimiento. Especialmente se hizo un análisis particular para el establecimiento de los coeficientes de evapotranspiración.

#### 2.2.0 Clima

El análisis climático de la región se hizo utilizando el sistema de Koeppen modificado por E. García, por lo cual los elementos utilizados son temperatura y precipitación. Junto con éstos se trataron los vientos dominantes, las heladas, el granizo y las nevadas que determinan los diversos caracteres que rigen el comportamiento mesoclimático de la cuenca.

Debido a que las estaciones meteorológicas existentes no tienen una distribución adecuada, o sus periodos de registro son muy recientes, se hizo necesario utilizar estaciones contiguas a la cuenca, con el propósito de correlacionar los datos estadísticos, elaborándose una serie de climogramas para facilitar la selección de las estaciones más representativas en cuanto a calidad y cantidad de observaciones.

Las estaciones seleccionadas dentro del área motivo del estudio, son: presa El Tigre, en el Estado de México; presa Requeña y Tepeji del Río, en el Estado de Hidalgo; así como presa Taxhimay, en el Estado de México que, aunque no se encuentra dentro de la cuenca, se le considera así por localizarse sobre el partaguas del oeste, cerca de la cortina de la presa del mismo nombre. También se tomaron en cuenta las estaciones de: Jaso y El Salto en el Estado de Hidalgo y Sta. Ma. Magdalena Cahuacan, Sta. Ma. Nativitas, Santiago Tlazala, Tepetzotlán, Villa del Carbón, presa Danxhó y San Miguel Jagüeyes, en el Estado de México que, localizadas fuera de la cuenca permiten determinar el clima de la región.

De cada estación se hizo un estudio particularizado del comportamiento de las variables de lluvia y temperatura, obteniéndose el número de días con lluvia apreciable, número de días con lluvia inapreciable y cantidad mensual y anual de la precipitación. Con estos elementos se dedujeron la cantidad acumulada de lluvia, la intensidad en 24 horas y los periodos interanuales de humedad y sequía. También el comportamiento de la marcha anual de los días con lluvia apreciable e inapreciable y la lluvia en 24 horas.

Los mapas de isotermas e isoyetas permitieron analizar la distribución de los elementos térmicos y pluviométricos que mar



can el inicio para establecer los límites de las unidades morfo-climáticas.

Tomando en cuenta la falta de datos en casi toda la cuenca, ya que las tres estaciones se encuentran, en la cabecera una, y cerca de la salida las otras dos, por medio de los métodos de "polígonos de Thiessen" y de "isoyetas", se obtuvo la lámina de agua promedio que cae, así como también la temperatura promedio, datos que sirvieron para ver la influencia que dichos elementos tienen en los cambios morfométricos de la misma.

También se tomaron en cuenta los vientos dominantes en cuanto a aportes de lluvia, y su influencia en el aumento o disminución de la evaporación. De la temperatura se estudiaron las medias anuales y mensuales, así como las máximas y mínimas, todo ello en función de una apreciación cualitativa a fin de establecer un balance de la evaporación.

Debido a la falta de datos de transpiración, para obtener la evapotranspiración de la región se aplicó un método teórico utilizado en el suroeste de Estados Unidos, que se adapta a las condiciones de la cuenca en cuanto a tipos de vegetación y climáticos.

Con todo lo anterior se estableció, a partir de la temperatura y la evapotranspiración, una zonificación mesoclimática que es el principal apoyo del análisis morfogenético e hidrodinámico.

### 2.3.0 Morfometría y dinámica fluvial.

Para el análisis hidrológico es necesario el conocimien

to de la magnitud y otras características de los escurrimientos que son generados por las precipitaciones habidas dentro del área de captación de la cuenca.

Es de todos sabido que el régimen de escurrimiento es un factor morfogenético muy importante que lo mismo actúa en las vertientes que en los lechos fluviales. Por tanto, la descripción y cuantificación del escurrimiento es indispensable para la mayor comprensión de la hidrología de la cuenca. Con esta finalidad se procedió a estudiar la red hidrográfica a partir de: la valoración y zonificación de la pendiente, el análisis de los perfiles longitudinales de los afluentes principales del río Tepeji, y la morfometría.

Al observar los perfiles longitudinales y la pendiente, se vio la importancia que éstos tienen en el aumento de la velocidad y grado de concentración del escurrimiento, lo que permitió conocer la influencia que tienen en la mayor o menor erosión, en su capacidad de carga, de incisión y de turbulencia del río.

Por el análisis morfométrico se obtuvieron los siguientes datos: área de la cuenca, pendiente media, altitud media, coeficiente de compacidad, factor de forma y las características de la red de drenaje.

Con ellos pudo valorarse el modo de funcionamiento de la cuenca de acuerdo con su extensión, pendiente, altitud y forma que presenta; también la cantidad de lluvia que cae dentro de la misma y su manera de escurrir, así como las probabilidades de que se presente una inundación o avenida dentro de la misma.

Se hizo necesario analizar las características de la

red de drenaje; la densidad, clase y orden de las corrientes, por el hecho conocido de que la rapidez de la concentración del escurrimiento y el coeficiente de la escorrentía crecen con la densidad del drenaje y con la frecuencia de los talwegs elementales.

Sin embargo, los datos de densidad de drenaje por sí so los no son suficientes, puesto que para una misma superficie los ríos largos y poco numerosos pueden dar la misma densidad que los ríos cortos y muy numerosos; por tanto, fue necesario analizar en conjunto todos los datos mencionados.

A partir de los datos de precipitación, pendiente, cobertura, infiltración y evapotranspiración, se determinaron las modalidades de la escorrentía y el escurrimiento y, con ello, el carácter morfogenético que rige la hidrodinámica de la cuenca en estudio.

2.0.0.0 El marco geográfico y características del medio natural

1.0.0 Localización.

La cuenca del río Tepeji se encuentra ubicada en el límite austral de la Altiplanicie Mexicana y dentro del Sistema Volcánico Transversal, entre los paralelos 19°35' y 19°58' de latitud Norte y, 99°17'30" a 99°32' de longitud Oeste.

La cuenca se localiza formando parte de las estribaciones que, hacia el norte, presenta la sierra de las Cruces, que localmente se conocen como sierra de Monte Alto y Monte Bajo, donde se orienta en principio con rumbo suroeste a noreste, hasta terminar con un alineamiento sur-norte.

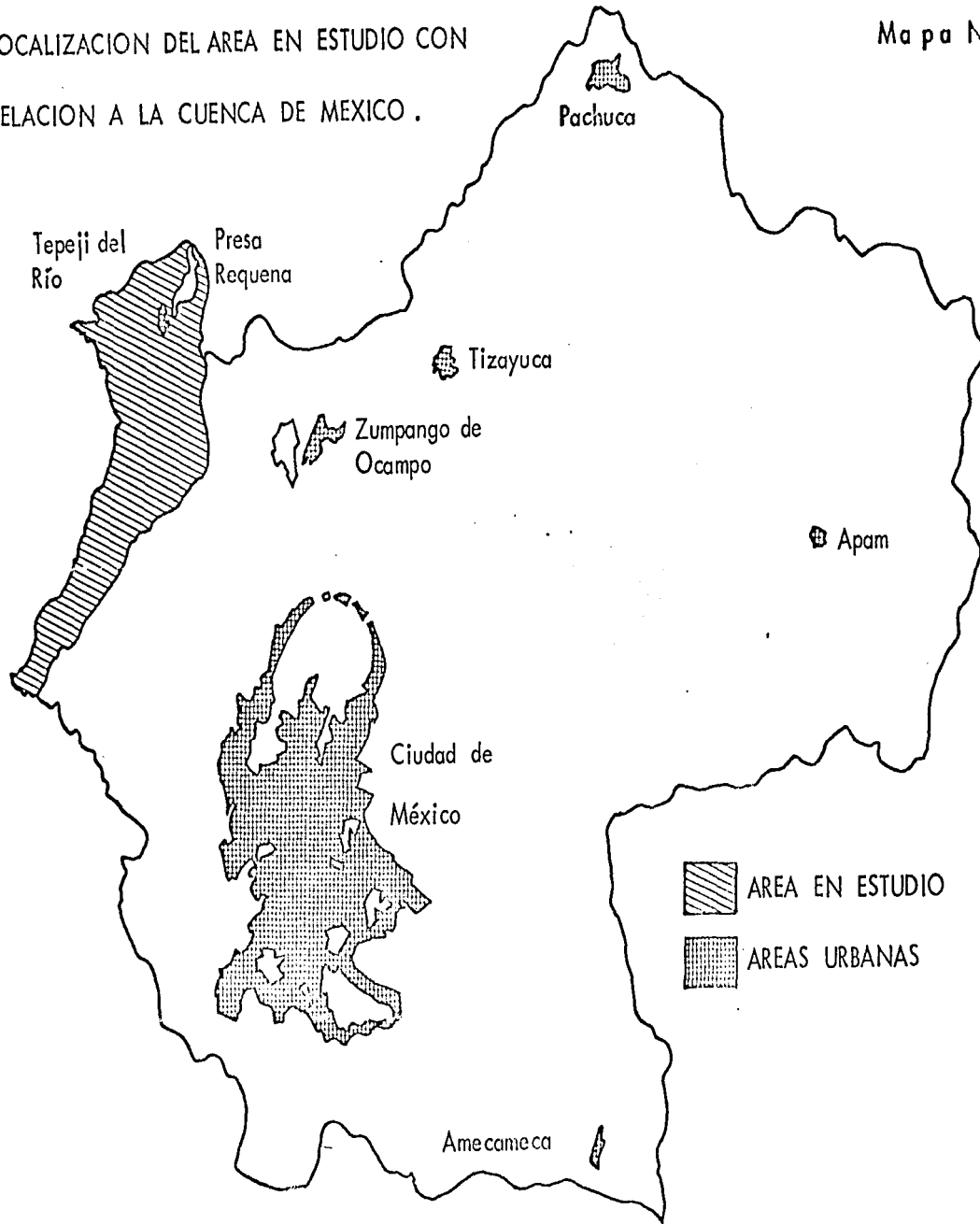
Localmente los límites naturales de la cuenca son los siguientes:

Al noreste y sureste la línea divisoria de las aguas que va por los lomeríos que se desprenden de la sierra de Tepotzotlán, alineados en sentido sur-norte y que sirven también de límite entre la cuenca de México y la cuenca del sistema Moctezuma-Pánuco a la que pertenece la cuenca del río Tepeji. Al sur y oeste el límite lo forman las sierras de Monte Alto y Monte Bajo; y por el norte queda limitada por estribaciones de la sierra de Jilotepec.

Políticamente la cuenca se encuentra dentro de los estados de México e Hidalgo, ocupando en el primero parte de los municipios de Villa del Carbón, Tepotzotlán, Villa Nicolás Romero, Huehuetoca y Jiquipilco, en tanto que en el segundo sólo entra una parte del de Tepeji del Río. Cerca del 42 % del área de la cuenca

LOCALIZACION DEL AREA EN ESTUDIO CON  
RELACION A LA CUENCA DE MEXICO .

Mapa No. 1



(170.325 Km<sup>2</sup>) se encuentra en el Estado de Hidalgo, ocupando el 58 % restante los municipios del Estado de México antes mencionados.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos (1) ha dividido esta cuenta en dos partes. La parte alta, que abarca la zona de captación del escurrimiento que reconoce como nivel de base local a la presa Taxhimay, y la parte baja, que es la que comprende el presente estudio, cuyo escurrimiento reconoce como nivel de base local a la presa Requena.

Los principales ríos que forman la cuenca son: Los Sabios, El Oro y Los Arcos, que confluyen por la parte media al río Tepeji que, a su vez, desagua en la presa Requena.

El área total de la cuenca en estudio es de 405.702 Km<sup>2</sup>, la pendiente media es de 11°35' y su altura media de 2 438.8 m.s. n.m.

## 2.0.0. Marco estructural

Debido a su posición geográfica, al sur del Valle del Mezquital y en el flanco norte del Sistema Volcánico Transversal, presenta tres regiones diferentes: así, se observa, desde el punto de vista topográfico, una zona montañosa, una zona de elevaciones medias o talud de transición y una zona baja, considerando como tal el nivel de base de la presa Requena.

(1) S.R.H. 1970. Región Hidrológica No. 26 parcial, Cuenca del río Tula. Boletín Hidrológico No. 45, Tomo I, datos hidrométricos de corrientes, de material de acarreo en suspensión e hidrométricos de vasos. Datos hasta diciembre de 1970.

## 2.1.0 La zona montañosa.

Está, a su vez, dividida en tres partes: una perteneciente a la sierra de Monte Alto y Monte Bajo, la segunda a las estribaciones de la sierra de Jilotepec y la tercera a la sierra de Tepetzotlán; diferenciadas las dos primeras de la tercera por características litológicas particulares.

La sierra de Monte Alto y Monte Bajo tiene un rumbo general de sureste a noroeste, siendo de tipo andesítico con derrames abundantes de espesor entre 30 y 150 m, con numerosas alternancias de material piroclástico y brechas. Las formas originales de la sierra andesítica han sido destruidas en gran parte por la erosión, predominando en las cumbres las formas redondeadas; sin embargo, en los flancos también hay formas de acantilados relativamente pequeños.

Los focos eruptivos en esta estructura son difícilmente reconocibles, así como las señales de erupciones, por grietas y fracturas.

Los picos más elevados son: el cerro La Cruz, con 3 625 m.; el cerro Los Potrerillos, con 3 605 m; y el cerro Río Frío, con 3 595 m.

Esta sierra presenta, en lo que corresponde a la cabecera de la cuenca, tres corrientes superpuestas, en forma escalonada, de material volcánico emitido durante la formación de ella. También se puede observar que los cerros de La Cruz y Los Potrerillos forman parte del cono volcánico, muy antiguo, que es la cabecera.

Esta sierra ha sufrido un tectonismo muy activo desde fines del plioceno, originando una red de fracturas y fallas que se cortan en diferentes direcciones, como resultado de los constantes movimientos que se han producido<sup>(2)</sup>.

Las estribaciones de la sierra de Jilotepec, al igual que ésta y que la de Monte Alto y Monte Bajo, está constituida por andesitas con brechas y tobas. El alineamiento que siguen sus principales edificios supone una serie de fracturas con dirección suroeste-noreste, casi paralelas; en su flanco oriental se encuentra más erosionada que en su flanco occidental; también se observan pequeños acantilados y abarrancamientos, con paredes abruptas, en las partes altas.

Los cerros más representativos son, sobre el parteaguas, de sur a norte; los cerros Los Jarros y La Idolatría, con 2 655 m; El Aguila, con 2 665 m; Veinte Barrancas, con 2 775 m; El Capulín, con 2 675 m; Las Majadas, con 2 570 m; y Los Lobos, con 2 585 m. Y dentro de la cuenca, siguiendo los lineamientos anteriormente descritos, se encuentran, de suroeste a noreste: el cerro El Pedregal, con 2 590 m; Cerro Grande, con 2 610 m; Los Cardones, con 2 520 m; con 2 460 m el cerro Uña de Gato, y El Podrido, con 2 450 m.

La sierra de Tepetzotlán está formada por los volcanes más antiguos que se encuentran dentro de la cuenca, formados durante un ciclo de afallamientos producidos durante el plioceno inferior; provocando la emisión de extensas masas de lavas ácidas

(2) S.R.H. 1964 " Hidrología de la Cuenca del Valle de México" Tomo I, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.



(andesitas riolíticas principalmente), fallas paralelas que se extinguieron también durante el plioceno. El alineamiento general de la sierra es, al igual que la de Jilotepec, de suroeste a noreste, extendiéndose sus derrames más hacia el norte y noreste que al sur.

Posteriormente, durante el cuaternario, por esfuerzos tensionales se fractura parte de la sierra produciéndose emisiones de material ígneo basáltico que cubrió sus partes media y baja dando origen a una serie de lomas, de menor altura, que forman una continuación orográfica de la sierra de Tepetzotlán hacia el norte de ésta, siendo la más importante la que forma el cerro El Epazote.

#### 2.2.0 La zona de elevaciones medias o talud de transición.

Forma un gran valle fluvial orientado de suroeste a noreste, que va descendiendo en forma suave a partir de los 2 650 m, aproximadamente, hasta llegar a los 2 200 m a partir de donde se considera ya la parte baja.

Corresponde en su mayor parte a la unidad litológica que pertenece a los depósitos volcánicos heterogéneos formados por aglomerados, conglomerados, brechas, tobas, masas de lodos y escombros clásticos que se apilan de manera caótica formando la rampa transicional entre las montañas y las partes bajas de la cuenca. Todo este material denudado de las partes superiores ha sido arrastrado y depositado en esta región a lo largo de grandes periodos de tiempo, de manera que actualmente, presenta un buen grado de compactación uniforme. (3)

(3) Cervantes B. J.F. 1967 " Aspectos geomorfológicos de la cuenca del río Churubusco". Tesis Profesional, UNAM, México.

Los movimientos tectónicos, tensionales, han originado fracturamientos y afallamientos que siguen cierto paralelismo y que han conformado en el área una estructura de lomeríos y abarrancamientos.

La gran extensión del talud de transición se puede observar desde el camino que va de Villa del Carbón a Chapa de Mota, y desde el camino a los " Arcos del Sitio " (acueducto colonial ), cerca del macizo de la sierra de Tepotzotlán, donde se presenta hacia el norte, noroeste, oeste y suroeste del valle como una gran planicie surcada por un drenaje paralelo y ligeramente basculado hacia el norte.

#### 2.3.0 La zona baja.

Abarca una pequeña extensión de la cuenca, está orientada de sur a norte y corresponde a la unidad litológica de los aluviones y clásticos del cuaternario depositados sobre las tobas estratificadas. Estos materiales son bastante permeables y porosos, lo cual les da un alto coeficiente de infiltración; por esta zona corre el río Tepeji, que sale de la presa Taxhimay; poco después se le unen sus principales afluentes, ya mencionados, así como los arroyos de menor importancia que descienden de las montañas del noroeste y del cerro El Epazote.

#### 3.0.0 LITOLOGIA.

La litología superficial se hizo por fotointerpretación, con apoyo en datos existentes y verificaciones de campo. La información bibliográfica se obtuvo del informe geológico de la Cuenca

de México, de F. Mooser<sup>(2)</sup>, datos de campo proporcionados por CETENAL, y el informe geológico de la S.R.H., para la construcción de la presa Requena<sup>(4)</sup>.

En la cuenca se observan cinco unidades litológicas principales que son:

- Rocas volcánicas ácidas e intermedias
- Rocas volcánicas básicas
- Depósitos volcánicos heterogéneos
- Tobas estratificadas
- Aluviones.

### 3.1.0 Las rocas ácidas e intermedias.

Se forman principalmente por andesitas, traquiandesitas y riodacitas.

Esta unidad se ha subdividido en dos subunidades, la primera se localiza en la cabecera de la cuenca y en las estribaciones de la sierra de Jilotepec, y la segunda se encuentra en la sierra de Tepetzotlán.

Las rocas que forman la primera subunidad son traquiandesitas y andesitas; las primeras presentan, en su aspecto microscópico, cambios de estructura vítrea afanítica, con fenocristales

(2) S.R.H. 1964. op. cit.

(4) Marín C.S. 1968 " Informe geológico superficial de la zona correspondiente a la Presa Requena, Edo. de Hgo." S.R.H., Dirección de Geología, Depto. de Geología Aplicada a la Ingeniería, México.

de gran tamaño, siendo su textura porfirítica con cristales de sa nidino, oligoclasa y labradorita, variando su coloración entre tonos grises, rosados, blanquizcos y violáceos. Las segundas son, propiamente, andesitas basálticas que presentan texturas felsíticas microcristalinas con augita y hornblenda, con coloraciones obscuras de tonos grises y verdosos.

La segunda subunidad se encuentra localizada en el macizo montañoso que forma la sierra de Tepetzotlán; la diferencia que existe entre ésta y la anterior es que sus rocas son más antiguas y más ácidas; siendo principalmente riodacitas y da citas, en ellas se observan fenocristales de cuarzo, ortosa y biotita sobre un fondo finamente granoso y vítreo de color claro, grisáceo, amarillento, verdoso o rojizo. La estructura es frecuentemente fluidal, con alineación de los fenocristales; rocas volcánicas de textura microlítica, son un pórfido cuarcífero <sup>(5)</sup>.

Los derrames de esta unidad se presentan en forma masiva, encontrándose en algunos lugares estructuras pseudoestratificadas, lo que provoca un fracturamiento horizontal con diaclasas que siguen las líneas de fluidez, que determina que cuando la roca se intemperiza se formen losas o lajas como clásticos residuales.

### 3.2.0 Rocas volcánicas básicas.

Estas son rocas basálticas que se localizan en varias áreas; se presentan como afloramientos en el lado este de la presa Requena y sobre la autopista a Querétaro y, en mayor extensión,

(5) Ordóñez E., 1895. "Las Rocas eruptivas del suroeste de la Cuenca de México". Boletín del Instituto Geológico de México, No. 2, México.

en la parte superior del cerro El Epazote y en el talud norte de la sierra de Tepetzotlán.

Generalmente se presentan en forma de derrames masivos bastante fracturados, con masas densas de colores grises claros y oscuros.

Los derrames gris claro, con una estructura columnar que se desarrolla perfectamente en los cerros que limitan por la margen derecha de la presa Requena, en contacto con las tobas presentan un aspecto masivo en tanto que en la parte superior su textura es vesicular; su espesor va de dos a quince metros, encontrándose en ocasiones su contacto inferior oculto, por lo que probablemente sean de una potencia mayor. Por su resistencia a la erosión se presentan en forma de cantiles, originando las caídas de agua que se observan en la margen derecha de la presa, aguas arriba de la cortina. Las corrientes basálticas de esta zona están cubiertas por un delgado espesor de tobas y suelos, aflorando la roca principalmente en los acantilados y a lo largo del vaso, en la margen derecha; sin embargo, a niveles altos se ve el coronamiento de los derrames basálticos.

Los basaltos son de color gris oscuro y se presentan como derrames e intrusiones de lavas fluidas y poco densas que se expanden en forma radial cubriendo las partes superiores del cerro El Epazote y del talud norte de la sierra de Tepetzotlán. Las rocas contienen una matriz criptocristalina de augita y olivino, con textura ligeramente vítrea.

### 3.3.0 Depósitos volcánicos heterogéneos.

Estos consisten en grandes cantidades de tobas y brechas

formadas por bancos de piroclásticos acumulados caóticamente a lo largo de la parte media de la cuenca.

Estos depósitos difieren en potencia, extensión, tipo y calibre de material, y en ellos se distinguen series clásticas de fragmentos angulares, grandes y chicos, que están cementados o empaquetados en una matriz lodosa o, bien, en gruesos horizontes de vidrio volcánico fino mezclado con fragmentos de piedra pómez y clásticos andesíticos de los más distintos tamaños ( de  $1 \text{ cm}^3$  a más de  $1 \text{ m}^3$ ); abundan, también, horizontes de suelos fósiles y capas de pómez.

La preponderancia de vidrio volcánico fino hace que los depósitos actúen como un sello hidrológico casi perfecto, razón por la que ni siquiera las gruesas capas de pómez conteridas en ella conducen agua. (3)

La infiltración reducida que caracteriza a este tipo de depósitos se refleja claramente en la complicada y densa red hidrográfica que siempre se desarrolla sobre su superficie.

La alteración superficial de estos depósitos ha favorecido la formación de suelos bien estructurados y con subsuelos densos de tipo tepetatoso.

### 3.1.0 Tobas estratificadas.

Estas se encuentran localizadas en una extensa área del centro norte de la cuenca, encontrándose gran parte de ellas bajo

(3) S.R.H. 1964.op. cit.

los derrames basálticos y los depósitos volcánicos heterogéneos, así como en la zona de los aluviones y clásticos recientes.

Estos materiales forman series muy potentes que fueron depositadas en un medio lacustre. Presentan, por influencia de fenómenos de óxido-reducción e hidrotermalismo, tres coloraciones distintas: verde claro en las partes inferiores, amarillo en las intermedias y, en las partes superiores, junto al contacto con los basaltos, colores pardos blanquizcos.

Estas tobas provienen de la descomposición de cenizas volcánicas y su constitución es compleja, predominando en ellas arcillas bentoníticas e ilíticas<sup>(6)</sup>.

El vaso de la presa Requena se encuentra labrado en estas tobas y, a lo largo del vaso, en la margen derecha, en los baños.

### 3.5.0 Aluviones.

Finalmente, los aluviones se encuentran localizados en las márgenes de los ríos así como en la mayor parte del valle del río Tepeji casi desde su salida de la presa Taxhimay hasta la salida de la cuenca, incluyendo la presa Requena.

Son bastante heterogéneos y están constituidos principalmente por cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas que varían de tamaño y de grado de redondez; como consecuencia del medio de transporte y la distancia a que han sido transportados desde su

(6) INSISA      Distrito de Riego del Río Tula, Hgo. Presa Requena.

lugar de origen, estos depósitos forman terrazas aluviales que se localizan en los ríos.

#### 4.0.0 Suelos.

Para un estudio de suelos es necesario tomar en cuenta los factores que intervienen en su formación y desarrollo, tales como la variabilidad climática (meso y microclimáticas), los procesos morfogenéticos, el vulcanismo y la acción antrópica que son variables tanto en tiempo como en espacio, lo que hace que exista una serie de modificaciones y alteraciones en los perfiles edáficos. Un ejemplo de esto puede ser el vulcanismo que se ha desarrollado en la cuenca en épocas recientes y que ha aportado nuevo material que ha cubierto el existente anteriormente; debido a esto la mayor parte de los suelos de la cuenca presenta una fase de desarrollo incipiente. Sin embargo, a nivel regional, los suelos se pueden unificar de acuerdo con el origen del material que los constituye, ya que todos se han derivado de aportes volcánicos siendo la diferencia su composición mineral y las diferentes formas de remoción, transporte y depósito.

Por lo anterior, los suelos se presentan en diferentes estados de evolución y composición, con características mineralógicas variables.

Así, se encuentra que en las partes altas de las sierras los suelos son residuales y más evolucionados, en tanto que en las partes intermedias los suelos son semirresiduales puesto que derivan de los depósitos de piroclastos que han constituido un material migrante porque es aquí donde la remoción, mezcla y depósito de los materiales es mayor.



Por último, en las partes bajas, por abajo de los 2 200 m, los suelos se forman en los depósitos coluvio-aluviales y, por tanto adquieren un carácter de transportados.

Así, se puede considerar que los suelos autóctonos o residuales se encuentran mejor ubicados en las partes montañosas, en tanto que los transportados se localizan a partir del talud de transición hasta las partes bajas de la cuenca.

Para el estudio de suelos de la cuenca se utilizó la clasificación de suelos de la FAO<sup>(7)</sup>, que analiza las unidades de acuerdo con sus características morfológicas; el mapa edafológico y los datos obtenidos en la CETENAL, así como algunas verificaciones de campo; también fueron utilizadas fotografías aéreas a escala 1:25 000.

Las unidades individuales se delimitaron y cartografiaron como tales cuando el 80 % de la unidad estaba formado por un solo tipo de suelo, señalándose en el mapa con una clave única. Cuando la predominancia no estaba clara y se encontraban dos o más tipos de suelos, se consideró mejor asociar las unidades jerarquizándolas de la siguiente manera: en las áreas en donde se encuentra una asociación de dos o más unidades, la clave en el mapa se inicia con la unidad que ocupe como mínimo el 60 % del área y las restantes se ponen a continuación unidas con un signo "+".

Las diferentes unidades cartografiadas se afirmaron con reconocimientos parciales de sitios edáficos en el campo, a fin de

(7) Dudal, R. 1968. " Definitions of soil units for the soil map of The World ", FAO, Rome, Italy.

lograr mejor zonificación.

#### 4.1.0 Unidad de Litosoles (I)

Son suelos que no presentan un perfil característico y, generalmente, se encuentran limitados en profundidad por un estrato duro que es continuo y coherente dentro de los primeros 10 cm. superficiales.

A esta unidad corresponden las áreas ocupadas por depósitos volcánicos de origen reciente, en las que el material no se encuentra alterado; también aquellas en las que la erosión ha eliminado las capas superficiales del suelo dejando al descubierto la roca madre.

Los litosoles típicos se encuentran en la parte noreste de la cuenca (sobre el cerro El Epazote, principalmente). Son suelos incipientes y débilmente desarrollados a partir de materiales pétreos; también se encuentran mezclados con escorias y bloques volcánicos que ocupan más del 80 % de espacio y volumen.

Como unidad los litosoles carecen de importancia, pues no presentan ningún desarrollo edáfico característico y su extensión es reducida; sin embargo, muy a menudo se encuentran cubiertos por material coluvial, aluvial y eólico, formando delgados horizontes en donde se desarrolla vegetación que permite la infiltración, lo que hace que tengan importancia aunque sea secundaria.

Otros litosoles que resultan de afloramientos rocosos se encuentran en las partes altas de las sierras de Tepetzotlán y en las estribaciones de la de Jiquipilco así como, también, en

las laderas sometidas a fuertes procesos de erosión. En estos casos se encuentran asociados, en un plano secundario, a otros tipos de suelos que tienen predominancia: en la sierra de Tepetzotlán se encuentran con Feozem háplico y Luvisol crómico, y en las estribaciones de la sierra de JiQUIPILCO y en las laderas de ésta y de la sierra de Tepetzotlán, con Feozem háplico solamente.

#### 4.2.0 Unidad de Andosoles (T)

Se originan a partir de material piroclástico volcánico, principalmente de arenas y cenizas volcánicas con gran contenido de vidrio volcánico; tienen colores oscuros que son causados tanto por el efecto de la ceniza volcánica poco intemperizada como por la cantidad de materia orgánica que contienen (8) y (9).

Debido a las características que estos materiales tienen, por lo que sufren una rápida intemperización, su textura varía entre migajones areno-limosos, francos y arcillosos, que hacen que tengan un alto rango de contenido de humedad. También tienen elevadas cantidades de materia orgánica (entre 5 y 20 % en los primeros 30 cm. del suelo, lo que hace que la densidad aparente sea baja<sup>(10)</sup>).

- (8) Aguilera, H. N. 1965. " Suelos de Ando, Génesis, Morfología y Clasificación " Serie Investigaciones No. 6, Col. de Post-graduados, ENA, Chapingo, México.
- (9) Aguilera, H. N. 1969. " Geographic Distribution and Characteristics of Volcanic Ash Soils in Mexico". 2° Panel de Suelos derivado de cenizas volcánicas. Organizado por FAO y OEA. Turrialba, Costa Rica, p. 6.1 a 6.12.
- (10) Shimada K. 1972. " Estudio de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas y de Ando del Ajusco, D. F. " Tesis de biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

En cuanto a los minerales, la fracción arenosa ( de 2 a 0.05 mm) contiene gran cantidad de las separatas minerales que están asociadas al grupo de los ferromagnesianos como olivino, piroxena, anfiboles y cuarzo, y también tienen óxidos de fierro y aluminio. La fracción limosa presenta un elevado porcentaje de vidrios volcánicos y plagioclasas, además de cuarzo y óxidos de fierro y aluminio; y en la fracción arcillosa, menor a 0.002 mm, dominan los minerales secundarios como alofano, haloisita, caolinita, gobsita, montmorilonita y óxidos de fierro, sílice y aluminio.

#### 4.3.0 Unidad de Luvisoles (L)

Más abajo, entre los 2 450 m. y el contacto con las asociaciones de Th + To, se encuentra la unidad de Luvisoles crómicos (Lc).

Estos suelos se forman a partir de depósitos de tobas, aglomerados y brechas volcánicas de matriz tobácea, son suelos mucho más lixiviados y degradados que los andosoles ócricos, lo que les da un horizonte A degradado, de color café rojizo oscuro, que se endurece cuando está seco; su capacidad de retención de agua es buena, aunque son permeables y porosos, y su estructura es aterronada. Tienen un horizonte B argílico, de color café fuerte a rojo, y presentan concreciones de óxidos de fierro; su capacidad de retención de agua es buena, sin embargo, la permeabilidad disminuye en relación con el horizonte A, por la mayor cantidad de arcillas presentes en él. La textura es media en el horizonte A y cambia de media a fina en el horizonte B. El contenido de materia orgánica es bajo, entre 0.8 a 4.7 %, por tanto es baja también la cantidad de nitrógeno asimilable.

#### 4.4.0 Asociaciones de suelos.

##### 4.4.1 Asociación de Th + To.

En la cuenca sólo se presentan dos tipos de la unidad de andosoles, los andosoles húmicos (Th) asociados a los andosoles ócricos (To); los andosoles húmicos tienen un desarrollo que ha estado condicionado en parte por las características del material original, así como por las condiciones climáticas en las que se han generado los procesos edáficos. La elevada proporción de materia orgánica en el horizonte A, que caracteriza al perfil, es causada en parte por la condición de bajas temperaturas (temperatura media anual inferior a 15°C), que disminuyen la acción de la flora microbiana y, por otra parte, por la riqueza en aportes de detritos orgánicos y la presencia de raicillas y organismos que producen compuestos orgánicos solubles que tienen gran importancia en la descomposición y degradación mineral.

El material parental se compone de elementos de piroclastos volcánicos finos, principalmente cenizas que forman depósitos de gran potencia. Los andosoles presentan un perfil A, (B), C y A,C profundo, en el cual el horizonte A es de color oscuro, el B de color rojo amarillo oscuro y el C generalmente gris.

En general, sus texturas son medianas, de franco-arenoso y franco; se trata de suelos generalmente porosos y de consistencia suelta y pulverulenta cuando están muy secos. Se localizan en relieves fuertes con pendientes dominantes de 25 a 45 %, y mayores.

La diferencia en las características de los andosoles ócricos respecto a los húmicos, es la menor cantidad de materia orgánica que presentan los primeros, debido a que han sufrido ma-

yor lixiviación, por lo que, también presentan colores más claros en los horizontes superficiales, su profundidad es moderada o más delgada, su consistencia untuosa con textura de migajón-limosa a migajón-arcillosa, y tienen mayor degradación.

Esta asociación se encuentra localizada a partir de, aproximadamente, 2 700 m. hacia la parte alta, en lo que corresponde a la sierra de Monte Alto y Monte Bajo.

Posteriormente, y por mayor degradación de los andosoles ócricos, así como por mayor lixiviación y erosión, se encuentra la transición de éstos a luvisoles crómicos con los que se en encuentran asociados.

#### 4.4.2 Asociación de To + Lc

La asociación de andosol ócrico con luvisol crómico, y viceversa, se localiza en la parte inferior, a los 2 550 m. y en la superior a los 2 700 m. en donde limita con la asociación de andosol húmico con andosol ócrico.

#### 4.4.3 Asociación de Lc + Hh + I

La asociación de luvisoles crómicos con feozem háplicos y litosoles se encuentran en la parte alta de la sierra de Tepotzotlán.

Los feozem háplicos (Hh) se forman a partir de material volcánico como andesitas, tobas y brechas; tienen un horizonte A mólico, café oscuro, con una profundidad media de 34 cm; su estructura es ligeramente aterronada y dura, es raro que presenten un horizonte B, aunque en algunos perfiles sí lo hay. La estructu

ra, en general, es de pequeños bloques subangulares, lo que permite que tengan una moderada capacidad de retención de agua; su textura es entre franca y migajón-arcillosa; sin embargo, presenta frecuentemente fases lítica y pedregosa, a poca profundidad, en algunos casos, y en otros a profundidades de más de 50 cm, en donde se puede encontrar la roca madre. Son ricos en contenido de materia orgánica la cual va disminuyendo con la profundidad.

También se encuentran asociados a litosoles en las estratificaciones de la sierra de Jiquipilco, así como en las laderas de ésta y de la sierra de Tepotzotlán.

Por otra parte, se puede decir que este tipo de suelos es el que predomina en la cuenca, ya que, aunque asociados a otros, se encuentran en un 80 % del área de la misma. Así, en el extremo norte y noreste se encuentran asociados, por una parte, a feozem calcáricos y, por otra, a vertisoles pélicos.

#### 4.4.4 Asociación de Hh + Hc

La asociación de feozem háplico con feozem calcárico se ubica mejor en la unidad litológica de tobas estratificadas. Estos suelos tienen, en general, las mismas características de los feozem; en particular presentan un horizonte cálcico de más de 15 cm de espesor, su contenido de materia orgánica es bajo y la textura está entre migajón-arenosa y franca, en tanto que la estructura es de pequeños bloques subangulares.

#### 4.4.5 Asociación de Hh + Vp

Esta se localiza en las regiones de los depósitos volcá

nicos heterogéneos.

Los vertisoles pélicos son suelos de color muy oscuro, casi negros y opacos, tienen una profundidad media entre 60 y 90 cm, con un horizonte A muy grueso (75 cm. aproximadamente); muchas de sus propiedades derivan de su tipo de textura fina, entre migajon-arcillosa y arcillosa. Una característica de estos suelos es su alto contenido de arcillas, lo que les da una estructura masiva; su consistencia es pegajosa y plástica en húmedo, produciéndose en diferentes épocas del año grietas profundas por la contracción y dilatación de las arcillas, por lo que están en constante movimiento. Como resultado de su capacidad de contracción y expansión, presentan un relieve típico de "gilgai" y la presencia de "slickensides", (11). Las arcillas a veces también forman capas protectoras superficiales, como resultado de humedad y sequía alternadas.

#### 4.4.6 Unidad de fluvisoles (J)

Por último, a lo largo del río Tepeji, en donde litológicamente hay aluviones, el material, que es transportado y depositado en el cauce del río, es heterogéneo y no presenta ningún proceso edáfico característico, ni desarrollado en horizontes como para poder ser clasificado morfológicamente y, por tanto, se le denomina fluvisol, por ser de origen fluvial; suelos que en este caso, por estar cultivados, han perdido potencial de fertilidad y pueden ser considerados como fluvisoles dístricos, o sea pobres en nutrientes.

(11) Castillo, J. B. 1968 "Apuntes sobre el curso de génesis y clasificación de suelos". Primer Seminario para profesores de suelos, IICA, Turrialba, Costa Rica.



### 5.0.0 Vegetación.

En épocas pasadas la cuenca baja del río Tepeji se encontraba cubierta con vegetación forestal de pinos y encinos, de ahí la toponimia de Monte Alto y Monte Bajo, así como de pastizales y pequeñas zonas agrícolas y frutícolas.

Estos recursos forestales pudieron haber constituido una riqueza forestal si hubieran tenido uso adecuado, además de la protección que prestaran a otros recursos básicos como son el suelo y el agua.

La vegetación tiene un papel muy importante como regulador meso y microclimático, por ello, al ser alterada, se ocasionan cambios en la cantidad de humedad e insolación, lo que, a su vez, provoca un nuevo cambio en la vegetación. Esto sucedió en la cuenca a causa de la tala inmoderada de los bosques, lo que ha dado lugar a cambios físicos que difícilmente podrán corregirse.

De acuerdo con sus características, la actual vegetación en la cuenca se puede agrupar en cuatro categorías importantes:

- a) Vegetación nativa. Integrada por el bosque de oyamel, pino y encino.
- b) Vegetación degradada. Con mezcla de individuos nativos, y matorrales como índices de perturbación
- c) Vegetación inducida. La forman gramíneas, que antiguamente se encontraban en pequeñas áreas planas y que actualmente ocupan grandes áreas de los valles y terrenos con pendien-

tes suaves.

d) Vegetación introducida. Formada por los cultivos agrícolas.

#### 5.1.0 La vegetación Nativa.

Está integrada por las especies: Abies religiosa, vulgarmente conocido como oyamel; Pinus sp. o pino, y Quercus sp o encino, que forman las masas más representativas dentro de la cuenca; sin embargo, están involucionando debido a una modificación climática que ha sido acelerada por la acción antrópica, así como por la presencia de incendios y plagas que van alterando poco a poco su equilibrio ecológico.

El bosque de Abies religiosa (oyamel), y el de Pinus sp. (pino) se encuentran cubriendo la superficie de la cuenca, desde los 2 500 m el pino, y desde los 2 700 m el oyamel, hasta las cimas de las sierras de la cuenca. Su estructura está formada por cuatro estratos vegetales: el mayor o arbóreo, el arbustivo, el herbáceo y el rasante; los tres últimos constituyen el sotobosque.

El estrato arbóreo de los oyameles tiene ejemplares altos, entre 35 y 40 m de altura media, que se desarrollan casi siempre en suelos profundos, formando núcleos densos; también forman el ecotono con pinos y, en algunos lugares, con encinos.

La altura media del estrato arbóreo de los pinos va de 30 a 40 m que al igual que el anterior, se desarrollan generalmente en suelos profundos; este bosque forma un ecotono difuso, en su parte alta con los oyameles y en su parte baja con los encinos.

Ambos tipos de árboles son perennifolios; en las áreas aún cubiertas de bosques, la cobertura foliar es excelente, pero va disminuyendo en los lugares afectados por el hombre (talas immoderadas, etc.); sin embargo, en algunas regiones existe una regeneración natural de dichos especímenes cuando las condiciones lo permiten.

Otras especies que integran el estrato arbóreo son: Abies concolor (oyamel o abeto); Pinus sp. (pino) y Pinus pátula (ocote); así como Quercus xalapensis, Quercus crassifolia, Quercus mexicana y Quercus crassipes.

El estrato arbustivo, que no es muy frecuente, se presenta en forma dispersa; su altura media es de 5 m y está formado principalmente por Baccharis conferta que, con su follaje extendido proporciona las condiciones de sombra necesarias para el crecimiento del oyamel (12).

Algunas de las especies que forman este estrato son: Arbutus xalapensis (madroño), Baccharis conferta (hierba del carbonero o escobilla), Baccharis heterophylla, Baccharis ramulosa, Senecio salingnus (jara o jarilla), Senecio tolucanus (rabanillo) Senecio sanguisorbae (rabanillo), Ribes affine (capulincillo cimarrón), Buddleia lanceolata (tepozán), entre otros; así como por los árboles jóvenes que posteriormente van a formar el estrato arbóreo.

El estrato herbáceo es muy abundante, su altura varía

(12) González A. y Sánchez V.M. 1961 " Los Parques Nacionales de México (situación actual y problemas)". Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México.

de pocos centímetros a metro y medio aproximadamente, y es en el que en época de lluvias se encuentran gran cantidad de flores; existe también gran cantidad de gramíneas de tipo amacollado, como Muhlenbergia macroura, así como compuestas, como Achillea millefolium (plumbajillo o cientoenrama), Gnaphalium conoideum (gordo lobo), y leguminosas en todo el bosque. Algunas otras especies son: Eruca sativa, Cyperus hermafroditus, Oxalis alpina, Brunella vulgaris, Oenothera rosea, y otras más.

Por último se encuentra el estrato rasante que incluye el tapiz y plantas menores de 5 centímetros; se limita a pequeñas áreas del terreno en las que existe mayor humedad, y facilita la infiltración y la lixiviación del suelo. Está integrado por hongos, musgos y líquenes; también existen helechos como el Adiantum trapeziforme (cilantrillo), Adiantum capillis, Polypodium sp., Woodwardia sp. y Driopteris sp., entre otros.

Los líquenes se encuentra en los cuatro estratos del bosque. Estos cuatro estratos, en conjunto forman una cobertura foliar muy buena, lo que es primordial en el desarrollo y conservación del suelo y del agua.

Bosque de encinos (Quercus sp.). Se localiza abajo de los 2 800 m, llegando hasta los 2 300 m aproximadamente; se encuentra asociado en la parte alta con el pino con el que forma un ecotono difuso; en el resto del área se encuentra asociado con madroños. El Quercus sp. es una comunidad dominante en esta región a causa del uso inmoderado que se hace de las coníferas, lo que ocasiona que el desarrollo del encino sea mayor.

Al igual que en los anteriores, en el bosque de encinos

también se presenta un estrato arbóreo y las tres especies que integran el sotobosque. El arbóreo lo forman los encinos Quercus crasifolia, Quercus mexicana y Quercus crassipes, y los madroños, Arbutus xalapensis, principalmente, así como Crataegus mexicana (tejojote) y Prunus capulli (capulín), los dos últimos árboles caducifolios cuya importancia es muy grande en el control de la erosión del suelo, por su cobertura foliar y su sistema radical.

También existe otro tipo de encinos que crece menos en altura, se extiende más en sentido horizontal y forma el estrato arbustivo, tales como el Quercus microphylla y Quercus crassipes; tipo que es más disperso y se encuentra en menor cantidad. También existen en este estrato encinos y madroños jóvenes que van creciendo al irse regenerando el bosque. El estrato herbáceo es más abundante que el arbustivo y está formado por plantas silvestres, leguminosas y gramíneas tales como Trisetum sp., Aegopogon sp., Andropogon sp., Panicum sp.; y arbustos pequeños, más o menos las mismas especies del bosque de Abies religiosa. El estrato raso se reduce a la parte más baja, con mayor cantidad de humedad, y en él predominan los musgos, líquenes, hongos y hepáticas, si bien dichas especies también se pueden encontrar en los otros estratos.

Los bosques son explotados por el hombre, extrayéndose lo siguiente: del oyamel y pino, resinas, breas, leña, y pulpa para fabricación de papel; del encino, brazuelo, carbón y pulpa para papel, así como leña en raja. Dentro del grupo de vegetación nativa, en los tres tipos de bosque se encuentra, en el estrato arbustivo, una planta típica de bosques templados: Baccharis sp., conocida como " escobilla " o " hierba del carbonero ".

### 5.2.0 La vegetación degradada.

Es una mezcla de vegetación nativa con vegetación invasora, y presencia de matorrales como índice de perturbación.

La vegetación nativa va desapareciendo al ser desplazada por plantas invasoras que van ocupando el espacio dejado por aquella; por ejemplo: los encinos, por ser un género más resistente a las condiciones alteradas del medio, van ocupando las áreas afectadas por el hombre; por tanto, dentro de poco tiempo va a haber mayor abundancia de encinos a altitudes mayores de aquellas en las que se encuentran actualmente. Asimismo, los encinos se encuentran asociados a matorrales subinermes, subcaducifolios, que son predominantes en la parte noreste de la cuenca donde se presentan los géneros Prosopis sp (mezquites) y Opuntia sp. (nopales y cactus), así como Buddleia lanceolata (tepozán), Eupatorium sp., Ranunculus petiolaris; esos matorrales se encuentran asociados a gramíneas tales como Bouteloua sp., Aegopogon sp y Panicum sp. y leguminosas, así como a plantas ruderales y arvenses.

En la parte noreste la vegetación es totalmente de matorral subinorme, lo que significa que la perturbación ya ha alcanzado altos grados, habiendo desaparecido totalmente la vegetación nativa.

Por la estructura se observa que la vegetación degradada se encuentra en una fase intermedia, en el contacto con los encinos, entre la vegetación nativa con tendencia a desaparecer y la transicional que está mejor adaptada a las características actuales del medio.

El grado de perturbación de este tipo de vegetación es

notable en cuanto a su relación con el medio físico: los encinos y madroños se encuentran dispersos; pueden verse muy separados o como manchones agrupados en algunas áreas, lo que hace que la cubierta foliar no sea muy buena, hecho que afecta las condiciones del suelo, pues hace mayor el escurrimiento superficial.

Dentro de este tipo de vegetación, las asociaciones más comunes son de encino-matorral, matorral-pastizal, matorral, encino-pastizal y pastizal.

#### 5.3.0 La vegetación inducida.

Se forma con gramíneas y leguminosas, principalmente Bouteloua sp., Aegopogon sp., y Panicum sp., que antes se localizaban en áreas pequeñas, pero actualmente, por la deforestación y el uso exhaustivo que el hombre ha hecho de los bosques, estos pastizales se han extendido a áreas mayores, encontrándose también en lomas, valles y terrenos de pendientes suaves, desde la parte centro-sur de la cuenca hasta el norte de la misma.

Se localiza también dentro de los bosques, en lo que correspondería al estrato herbáceo, como se explicó anteriormente.

#### 5.4.0 La vegetación introducida.

Esta constituida por las plantas que el hombre cultiva y que en esta zona son: maíz, papa, cebada, haba, trigo, frijol, alfalfa y chícharo, y árboles frutales: durazno, manzano, peral y nogal de castilla, entre otros. En estas zonas también crecen hierbas como: Cosmos bipinnatus (girasol morado), Lopezia racimosa (perlilla), Bidens triplinervia, Rumex sp., Rumex obtusifolia (hier

ba del negro), Alchemilla pringlei (hierba del rocío), Cuphea aequipetala (hierba del cáncer), Stachys agraria y otras. A estas hierbas se les denomina ruderales o arvenses porque se desarrollan en zonas perturbadas, como los lados de los caminos y de los ríos y arroyos, así como en campos de cultivo abandonados.

#### 5.5.0 Distribución actual de la vegetación.

En vista de que las comunidades vegetales se encuentran muy relacionadas entre sí, se pensó en separarlas para ser cartografiadas desde el punto de vista de su estado de conservación actual, ya que este método es válido para el presente estudio pues no altera la forma actual del medio físico.

Dentro del bosque existen, fundamentalmente, dos estados de conservación; lo que sería propiamente el bosque conservado, que se encuentra en las partes altas de las sierras, desde altitudes que varían entre 2 500 y 2 600 m, hasta las cimas, que abarca un área aproximada de 97. 037 900 Km<sup>2</sup>, equivalente al 61.69 % del área total de los bosques y al 23.92 % del área total de la cuenca; estas cantidades incluyen bosque de oyamei y pino, especies que forman un estrato uniforme que debe ser conservado como protección de los suelos ante el ataque de los procesos erosivos del mayor grado de infiltración y su función como recarga acuífera; así como de la disminución del escurrimiento superficial que se traduce en el menor transporte de materiales que van a azolvar la presa Requena. También se le puede dar un uso adecuado de explotación que beneficie a las comunidades rurales de la zona; dentro de este bosque hay una zona de bosque semiperturbado que puede ser corregido si se evita la tala inmoderada; que no está cartografiado por separado, sino dentro del bosque conservado,



debido a que las áreas que ocupa son pequeñas.

El otro estado del bosque es el perturbado, formado por encinos y vegetación secundaria tales como los encinos matorrales, madroños, Baccharis sp. etc, que se encuentran en las estribaciones de la sierra de Jilotepec, en las faldas de la sierra de Tepotzotlán y en parte del talud transicional, y que ocupa  $60.237\ 900\ \text{Km}^2$  que equivalen al 38.30 % del área total de bosques, y al 14.84 % del total de la cuenca. De estos datos se puede inferir la fortísima acción antrópica ocasionada por talas, roturamientos agrícolas y pastoreo inmoderados que dan lugar a la alteración de los bosques.

La zona de pastizales es la mayor superficie de alteración, causada por el hombre, en lo que fueron antiguamente bosques de pinos y encinos y que en la actualidad forman la zona desforestada; dentro de ésta también se consideran la zona de los matorrales y la de pequeños afloramientos rocosos. La zona desforestada abarca una superficie de  $158.075\ 800\ \text{Km}^2$ , o sea el 38.96 % del área total de la cuenca, de los cuales  $59.137\ 900\ \text{Km}^2$  (14.58%) corresponden a los matorrales y, el resto,  $98.937\ 900\ \text{Km}^2$ , a los pastizales, quedando incluidos en ambos los afloramientos rocosos.

La superficie agrícola es de  $83.200\ 000\ \text{Km}^2$  que equivalen al 20.10 % del área total de la cuenca; se localizan en terrenos grandes y pequeños distribuidos en toda la cuenca, cuyas pendientes son suaves y moderadamente ligeras, encontrándose la mayor concentración en la zona de Tepeji del Río, a lo largo del río Tepeji, desde la presa Requena hasta cerca de la presa Taxhimay, y hacia la parte de San Buenaventura, al centro este de la cuenca.

Los efectos causados por estos estados de la vegetación, son los siguientes:

El bosque conservado protege al suelo de la erosión superficial, facilita la agregación de partículas al mismo, la infiltración del agua y la lixiviación, manteniendo un estado medio con pocos cambios, al guardar el calor y la humedad; y evita la acción directa de la insolación en el suelo y en el estrato rasante de la vegetación. El semiperturbado provoca un descenso en la humedad de las capas cercanas al suelo y en él mismo, debido a una mayor acción de la insolación en el estrato rasante y en el suelo mismo.

En el bosque perturbado, por la presencia tan dispersa del estrato arbóreo la acción directa de la insolación es casi total, así como también la acción eólica y fluvial.

En las zonas desforestadas (matorral y pastizal) la erosión eólica y fluvial son intensas, lo que va a provocar un remodelado total del suelo, por el movimiento del material suelto hacia las partes bajas. Así, queda al descubierto el material rocoso en el cual actúan el termoclastismo, la insolación y la gelifracción que provocan fragmentación del material que se va a depositar en las partes bajas, impidiendo o disminuyendo la producción.

### 3.0.0.0 El Sistema Climático.

#### 1.0.0 Características de la información considerada.

Para el estudio de los tipos y subtipos climáticos de la cuenca, de acuerdo con la clasificación climática de Koeppen modificada por García, se utilizaron datos de temperatura y precipitación, así como de vientos, heladas, granizo, nevadas y evaporación de las estaciones: presa El Tigre, presa Requena, y Tepeji del Río, ubicadas dentro de la cuenca, así como la estación presa Taxhimay que, aunque se encuentra fuera de ella, se ubica sobre el parteaguas occidental por lo que está considerada dentro de la misma. También se utilizaron, como apoyo, datos de las estaciones; Jaso, El Salto, presa La Concepción, Santa Ma. Magdalena Cahuacán, Santa Ma. Nativitas, Santiago Tlazala, Tepetzotlán, Villa del Carbón, presa Danxhó y San Miguel Jagüeyes, que se encuentran fuera de la cuenca, colindantes y más o menos distribuidas uniformemente.

Los datos utilizados para la clasificación climática fueron recabados en el archivo del Departamento de Climatología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, salvo los de Villa del Carbón que fueron obtenidos del archivo del Servicio Meteorológico Mexicano dependiente de la Dirección General de Geografía y Meteorología de la S.A.G.

Dado el funcionamiento irregular de las estaciones fue necesario uniformar estadísticamente las observaciones, a fin de contar con la exactitud más adecuada a nuestras necesidades.

#### 2.0.0 Determinación de tipos y subtipos climáticos.

PRESA EL TIGRE. Localización, Edo. de México. Latitud =

19° 37' Norte, longitud = 99° 28' Oeste; altitud = 2 980 m.s.n.m.  
Se analizó un periodo irregular de 10 años de observaciones, para  
temperatura, y de 19 años, para precipitación ( 1953 - 1972).

Mes más cálido                      junio                      14.5°C

Mes más frío                      diciembre                      8.7°C

Oscilación térmica                      6.8°C

P/T = 72.0

% de lluvia invernal = 3.1 %      (w)

Tipo climático = C templado

Subtipo = (w<sub>2</sub>) el más húmedo de los templados subhúmedos,  
con lluvias en verano retrasadas al otoño,  
cociente P/T mayor de 55.0.

Régimen térmico = b de verano fresco y largo, con tempe-  
ratura del mes más cálido menor de 22°C.

Por su oscilación térmica = (i') entre 5°C y 7°C

Marcha de la temperatura = g tipo Ganges

Máximo de claves aceptado.

C(w<sub>2</sub>) (w) b (i') g

DEFINICION. Templado subhúmedo, el más húmedo de los tres  
subtipos, con lluvias de verano retrasadas a parte del otoño, el  
porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 % de la total anual.  
El régimen térmico es de verano fresco y largo, oscilación térmica  
de poca diferencia, y la temperatura máxima se presenta antes del  
solsticio de verano.

PRESA REQUENA. Localización, Edo. de Hidalgo. Latitud =  
19° 57' Norte, longitud = 99° 18' Oeste; altitud = 2 100 msnm. con

periodo irregular de 43 años de observaciones termopluviométricas (1921-1972).

Mes más cálido	mayo	18.2°C
Mes más frío	enero	<u>13.6°C</u>
Oscilación térmica		4.6°C

P/T = 33.8

% de lluvia invernal = 3.3 % (w)

Tipo climático = BS seco estepario

Subtipo = S<sub>1</sub> el más húmedo de los secos, con cociente P/T mayor de 22.9

Régimen térmico = k verano cálido, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, la del mes más frío entre - 3°C y 18°C y la del más caliente mayor de 18°C.

Oscilación térmica = i isothermal, menor de 5°C

Régimen de lluvias = w' (w) lluvias de verano retrasadas al otoño y % de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual.

Marcha anual de la temperatura = g tipo Ganges.

Máximo de claves aceptado.

BS<sub>1</sub> k w' (w) i g

DEFINICION. Seco estepario, el más húmedo de los secos, con lluvias de verano retrasadas al otoño y porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual, régimen térmico templado con verano cálido y oscilación térmica isothermal, la temperatura máxima se presenta antes del solsticio de verano.

TEPEJI DEL RIO. Localización. Edo. de Hidalgo. Latitud =

19° 54' Norte, longitud = 99° 21', altitud = 2 150 msnm. con periodo regular de 11 años de observaciones termopluviométricas.

Mes más caliente                      mayo    18.3°C

Mes más frío                            enero    12.8°C

Oscilación térmica                      5.5°C

P/T = 41.1

% de lluvia invernal = 2.6 % (w)

Tipo climático = C templado

Subtipo = (w'<sub>0</sub>) el más seco de los tres subtipos, con lluvias en verano retrasadas al otoño, cociente P/T menor de 43.2

Régimen térmico = b verano fresco y largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5°C y 22°C.

Oscilación térmica = (i') entre 5°C y 7°C.

Marcha de la temperatura = g tipo Ganges

Máximo de claves aceptado

C(w'<sub>0</sub>) (w) b (i') g

DEFINICION. Templado, el más seco de los tres subtipos, con lluvias de verano retrasadas al otoño, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual, régimen térmico con verano fresco y largo, oscilación térmica entre 5°C y 7°C y la temperatura máxima se presenta antes del solsticio de verano.

PRESA TAXHIMAY. Localización. Edo. de México. Latitud = 19° 50' Norte, longitud = 99° 23' Oeste, altitud = 2 235 msnm., con periodo regular de 10 años de observaciones de lluvia y temperatura.

Mes más cálido            mayo    18.9°C

Mes más frío            enero    13.2°C

Oscilación térmica                    5.7°C

P/T = 50.8

% de lluvia invernal = 2.8 % (w)

Tipo climático = C templado

Subtipo = (w<sub>1</sub>') intermedio entre el C(w<sub>0</sub>) y el C(w<sub>2</sub>) con  
lluvias de verano retrasadas al otoño y  
cociente P/T entre 43.2 y 55.0

Régimen térmico = b verano fresco y largo, temperatura  
media del mes más caliente entre 6.5°C  
y 22°C.

Oscilación térmica = (i') entre 5°C y 7°C

Marcha de la temperatura = g tipo ganges

Máximo de claves aceptado

C(w<sub>1</sub>') (w) b (i') g

DEFINICION. Templado subhúmedo, intermedio entre el C(w<sub>0</sub>) y el C(w<sub>2</sub>), con lluvias de verano retardadas al otoño, porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual, por el régimen térmico es de verano fresco y largo, oscilación térmica entre 5°C y 7°C y presenta la máxima temperatura antes del solsticio de verano.

El resumen de los datos de temperatura media anual y de la altura anual de la lluvia, de las diferentes estaciones, en los periodos considerados, se expresan en la tabla No. 1, de la que se deducen los elementos necesarios para la clasificación climática por el sistema de Koeppen modificado por E. García (13).

(13) García, E. 1964. " Modificaciones al sistema climático de Koeppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana" México D.F. Of-set Larios.

T A B L A 1

Resumen de los datos climáticos de la cuenca  
(Temperatura media anual y altura anual de la lluvia)

Estación	Periodo Considerado	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
PRESA EL TIGRE	T - 10 P - 19	8.7	10.0	12.0	13.8	14.4	14.5	13.8	13.6	13.6	11.9	10.3	9.3	12.1 C 1332.8 mm.
PRESA REQUENA	T - 10 P - 43	13.6	14.7	16.3	17.4	18.2	17.9	17.2	17.2	16.8	16.0	14.6	13.9	16.1 C 544.5 mm.
TEPEJI DEL RIO	T - 11 P - 11	12.8	13.4	15.5	16.7	18.3	18.0	17.4	17.3	17.5	16.0	16.0	13.0	15.9 C 653.7 mm.
PRESA TAXHIMAY	T - 10 P - 10	13.2	14.6	16.9	18.7	18.9	18.4	17.4	17.4	17.0	16.1	14.9	13.8	16.4 C 833.7 mm.



### 2.1.0 Interpretación de resultados.

Antes de entrar al análisis particular de las características de cada uno de los factores climáticos en el área, es necesario interpretarlos en conjunto como formadores del clima, lo cual se hace a partir de los climogramas de las estaciones presa El Tigre, presa Requena, Tepeji del Río y presa Taxhimay (Gráficas Nos. 1, 2, 3 y 4), que por su distribución en la cuenca dan una visión del comportamiento medio de la atmósfera.

La situación geográfica y altitudinal del área en estudio influye en el comportamiento climático de la misma; recibiendo en el año influencias de masas de aire marino, continental y de circulación superior.

Por lo anterior, los climogramas muestran una dinámica característica tanto de medios tropicales como de medios templados; así muestra dos máximos en la marcha anual de la temperatura y dos periodos de precipitación, que son típicos del medio intertropical, en tanto que su amplitud térmica es de carácter templado.

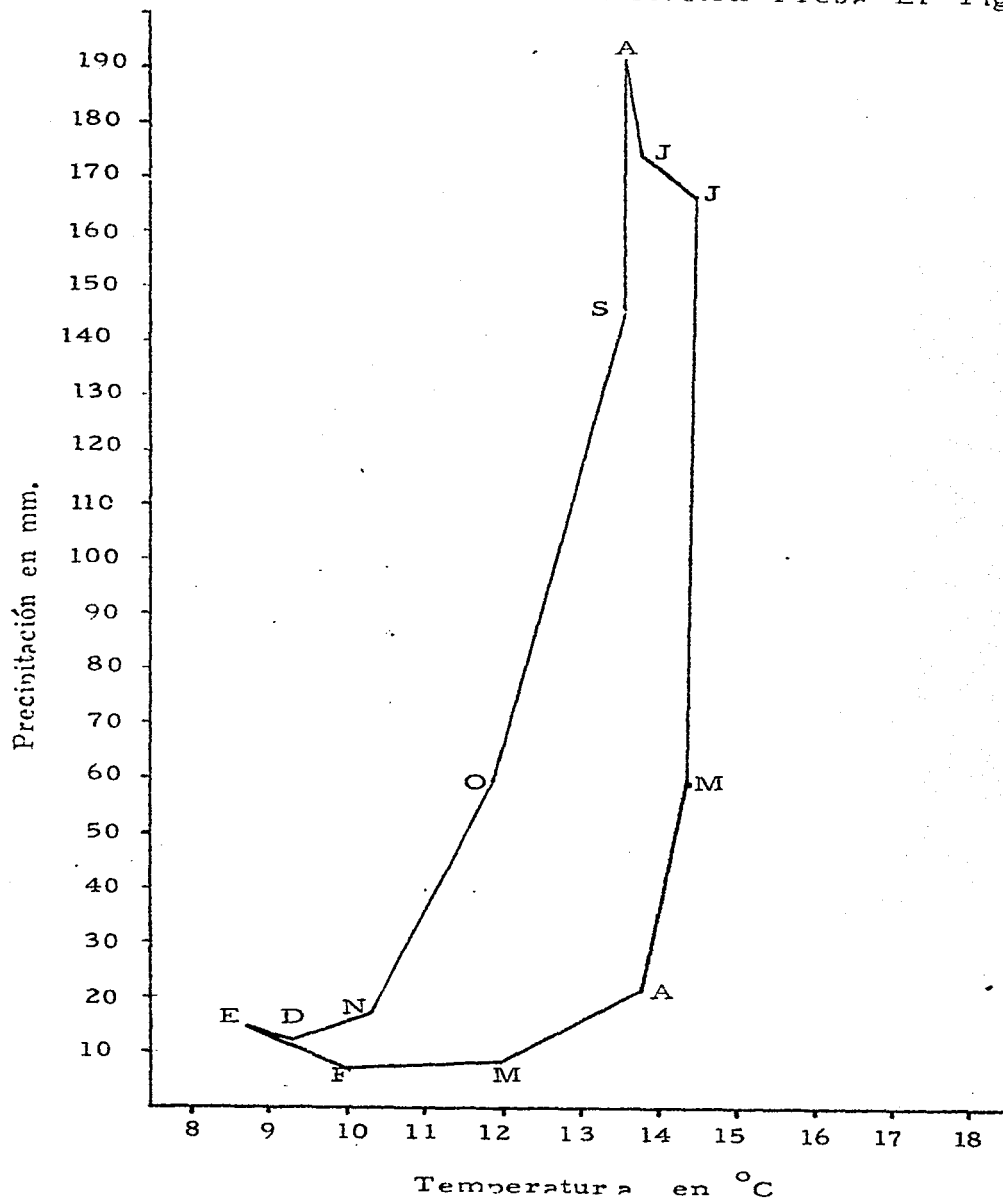
Reseñando brevemente la dinámica anual mostrada en los climogramas encontramos lo siguiente:

### 2.2.0 La circulación de verano.

En el transcurso del verano la influencia de los vientos de circulación general producidos por el movimiento estacional del centro anticiclónico denominado Bermuda-Azores, en el Gol

CLIMOGRAMA

Estación Presa El Tigre.

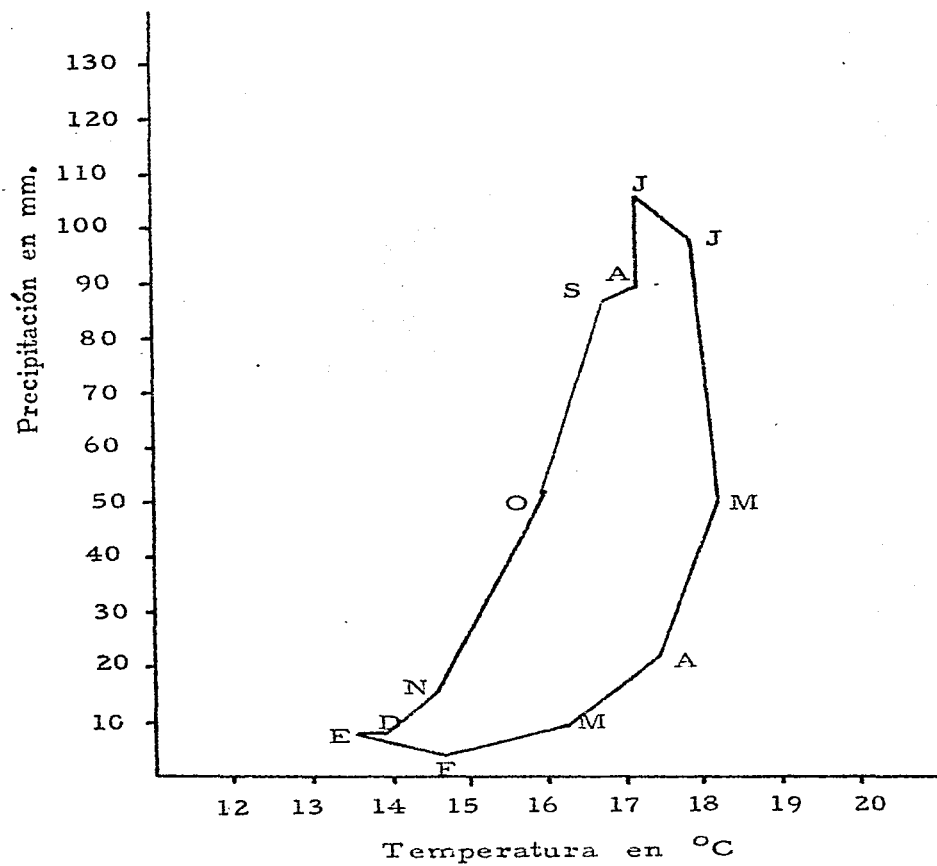


Temperatura en °C

GRAFICA No. 1

# CLIMOGRAMA

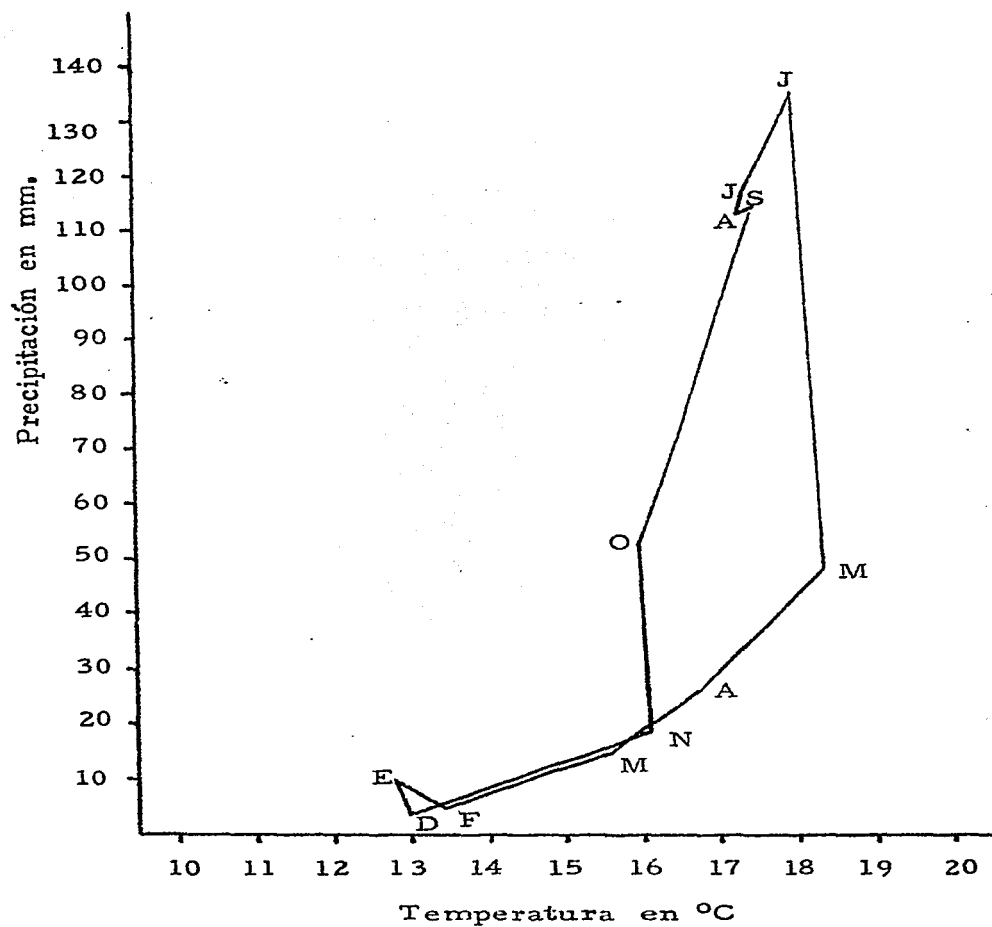
Estación Presa Requena



GRAFICA No. 2

CLIMOGRAMA

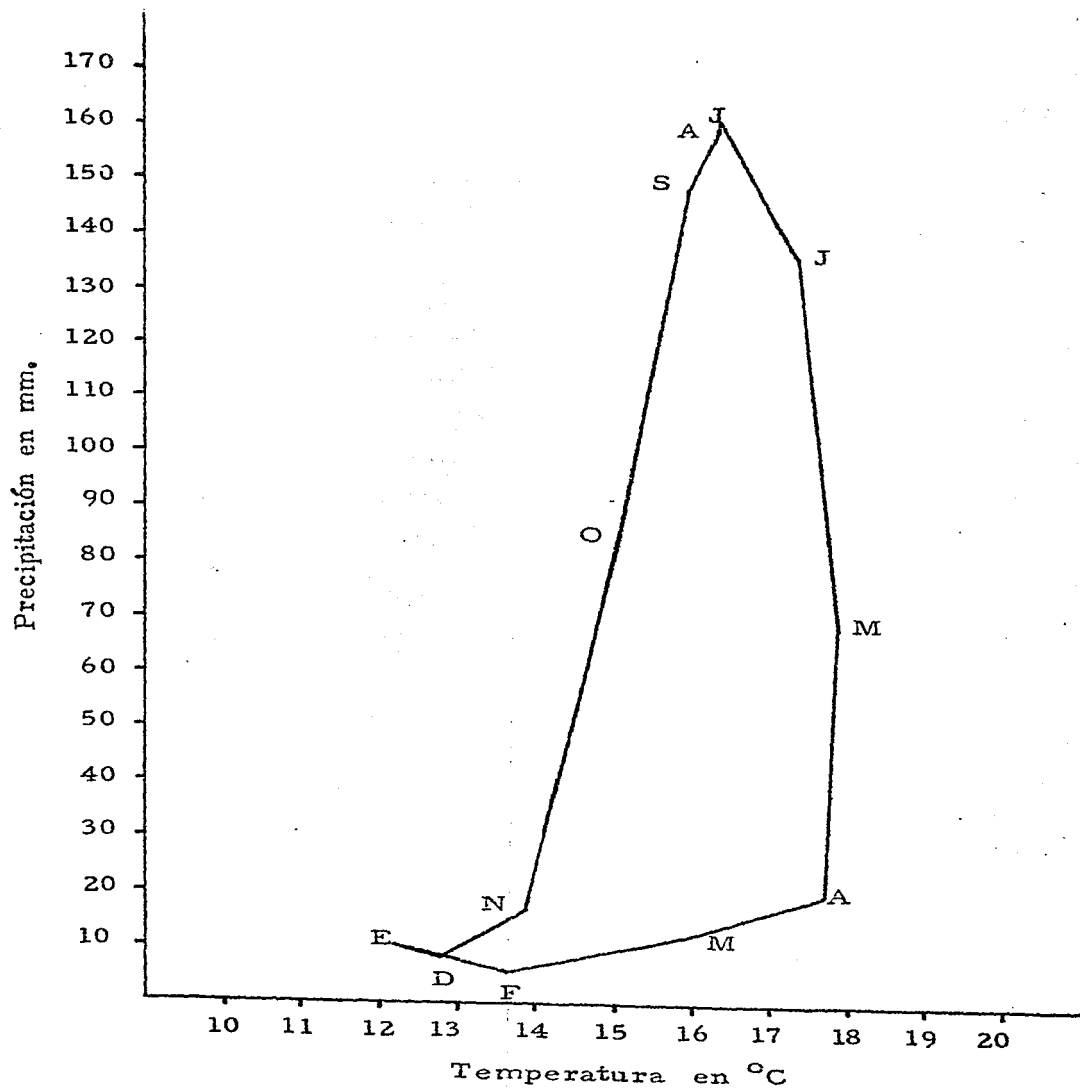
Estación Tepeji Del Río



GRAFICA No. 3

CLIMOGRAMA

Estación Presa Taxhimay.



GRAFICA No. 4

fo de México<sup>(14)</sup>, determina la circulación superficial y profunda de los vientos del este (alisios), de fuerte intensidad y amplitud, que entran al país como masas frías y húmedas; la mayor parte de los climogramas muestran que esta circulación se inicia desde el mes de abril, con una reducción térmica y un aumento en la precipitación que se acentúan plenamente en los meses de mayo y junio.

También, durante esta estación, ocurren los desplazamientos de la zona intertropical de convergencia (ZIC) que se localiza hacia el oeste de Centroamérica, en el océano Pacífico, misma que se mueve hacia el norte en los meses de mayo-junio<sup>(15)</sup>; retrocediendo hacia el sur durante julio y agosto y retornando nuevamente al norte en septiembre y octubre.

Esta serie de desplazamientos de la ZIC determinan una disminución en las precipitaciones que se presentan a mitad del verano (julio-agosto), que causan la llamada sequía interestival<sup>(16)</sup> mostrada por los climogramas de Tepeji del Rfo, presa Requena y presa Taxhimay, en tanto que el de la presa El Tigre muestra un aumento que puede atribuirse a la precipitación orográfica.

(14) García, E. 1966 " Los climas del Valle de México según el sistema de clasificación climática de Koeppen modificado por la autora ". Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Memorias de la Conferencia Regional Latinoamericana. Tomo IV pp. 27-39.

(15) Jáuregui, E. 1971 " Las zonas climáticas de la Ciudad de México".

(16) Mosiño, P. y García, E. 1968. " Evaluación de la Sequía interestival en México". ENA, serie 6.

Otra característica importante que influye en la variación del régimen de lluvias del verano, es la que provocan las ondas del este<sup>(14)</sup>, motivadas por perturbaciones de gran amplitud asociadas con los alisios; estas perturbaciones se manifiestan por aire subsidente en su parte frontal, y ascendente en su parte posterior, originando periodos de días despejados sin lluvias, en la fase subsidente y nublados y lluvias en la ascendente.

Por último, a fines del verano y principios del otoño (agosto-septiembre-octubre) se presentan en los océanos Pacífico y Atlántico las perturbaciones ciclónicas que, penetrando o no al territorio mexicano, refuerzan la humedad y las precipitaciones de la estación. Por esto la circulación ciclónica es tan importante no sólo para la cuenca, sino para todo el país, ya que los déficit de humedad llevada por los alisios se hacen menos críticos cuando los vientos ciclónicos aportan humedad y lluvias.

### 2.3.0 La circulación de invierno.

A principios del otoño la circulación ciclónica disminuye al desplazarse hacia el sur la zona subtropical de alta presión (Bermuda-Azores), de tal manera que se inicia progresivamente en la sierra de Las Cruces el predominio de la circulación de los vientos del oeste, típicos de la circulación de las latitudes medias, que causan las primeras heladas en la cuenca. Ya en plena época invernal se presentan las invasiones de masas de aire frío.

(14) García, E. 1966. op-cit.

y polar que originan fuertes descensos térmicos, más importantes en las partes altas. Las ondas frías corresponden a masas de aire continental generadas en el centro norte de Estados Unidos y Canadá, donde se forma un centro de alta presión que se desplaza hacia el sur desde mediados del invierno, e introduce al país masas de aire frío y seco, predominantemente, parte del cual sale y transita sobre el Golfo de México, donde se modifica, volviendo a entrar como aire frío y húmedo a las costas mexicanas, desde el sur de Tamaulipas, con una componente esencial del noreste, por lo que se les llama "nortes". El otro tipo de vientos corresponde a ondas frías de aire polar que provienen de vaguadas generadas en el vórtice circumpolar, las cuales penetran por el noroeste y norte del país, generando amplios descensos térmicos conocidos como equipatas y cabañuelas, en el norte y el bajo, y las típicas ondas frías del sur de la Altiplanicie Mexicana.

Ya en el mes de abril la circulación invernal empieza a disminuir al alcanzar el continente tal grado de caldeamiento, que permite que el gradiente de presión meridional del nivel medio de la troposfera se debilite y los vientos del oeste pierdan intensidad, al mismo tiempo que el anticiclón Bermuda-Azores se desplaza nuevamente hacia el norte, iniciando con ello el dominio progresivo de los alisios que dominarán la siguiente mitad húmeda del año<sup>(17)</sup>.

#### 2.4.0 La marcha anual de la temperatura.

La marcha anual de la temperatura en las estaciones de

(17) García, E. Apuntes de Climatología para la carrera de Biología de la Fac. de Ciencias, UNAM, México, D. F., Mimeógrafo.



la cuenca muestra, en general, dos máximos y dos mínimos, o sea una curva típica de las regiones tropicales <sup>(14)</sup> (ver gráficas Nos. 5, 6, 7 y 8); es necesario hacer hincapié en que, aunque en los termogramas de las estaciones presa El Tigre, presa Requena, y presa Taxhimay el segundo máximo no es muy notorio, esto puede deberse a que los aparatos están instalados en las cortinas de las presas, lo cual determina un fuerte amortiguamiento de la temperatura por lo elevado de la humedad relativa que hace que, aunque la temperatura ascienda, su valor no sea registrado.

Respecto a la posición de los máximos térmicos, el primero y más importante se presenta a finales de mayo o principios de junio y el segundo en agosto o septiembre, debidos ambos al retraso de la temperatura con respecto a la insolación. En lo concerniente a los mínimos térmicos, éstos se muestran, el principal durante la época invernal, en el mes de enero, cuando la insolación llega a su mínimo y dominan las masas de aire frío del oeste y las polares del norte; el segundo mínimo ocurre durante la estación húmeda, en el transcurso de julio, cuando penetran de lleno los vientos húmedos que provienen del mar y actúan como masas de aire frío en contraste con las cálidas y secas que se encuentran en la cuenca, determinando que la temperatura máxima alcanza en junio decrezca, en promedio, 1° o 2°C.

Con todo, la oscilación térmica de la cuenca es poco extrema, entre 5° y 7°C, siendo en algunas partes isotermal, con menos de 5°C.

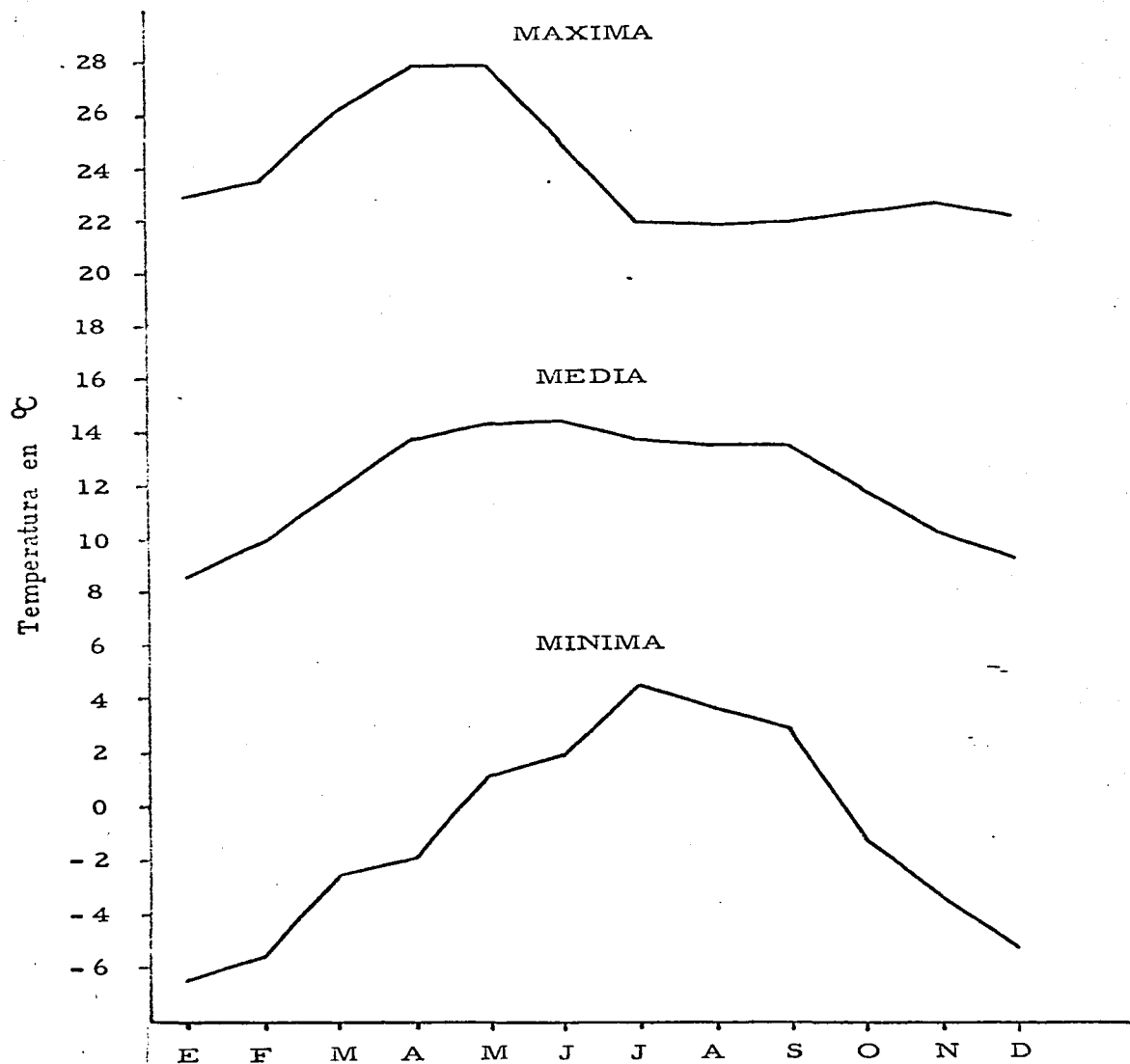
#### 2.5.0 Periodos y tipos de precipitación.

El factor orográfico es determinante en la generación,

(14) García, E. 1966 op-cit.

TERMOGRAMA

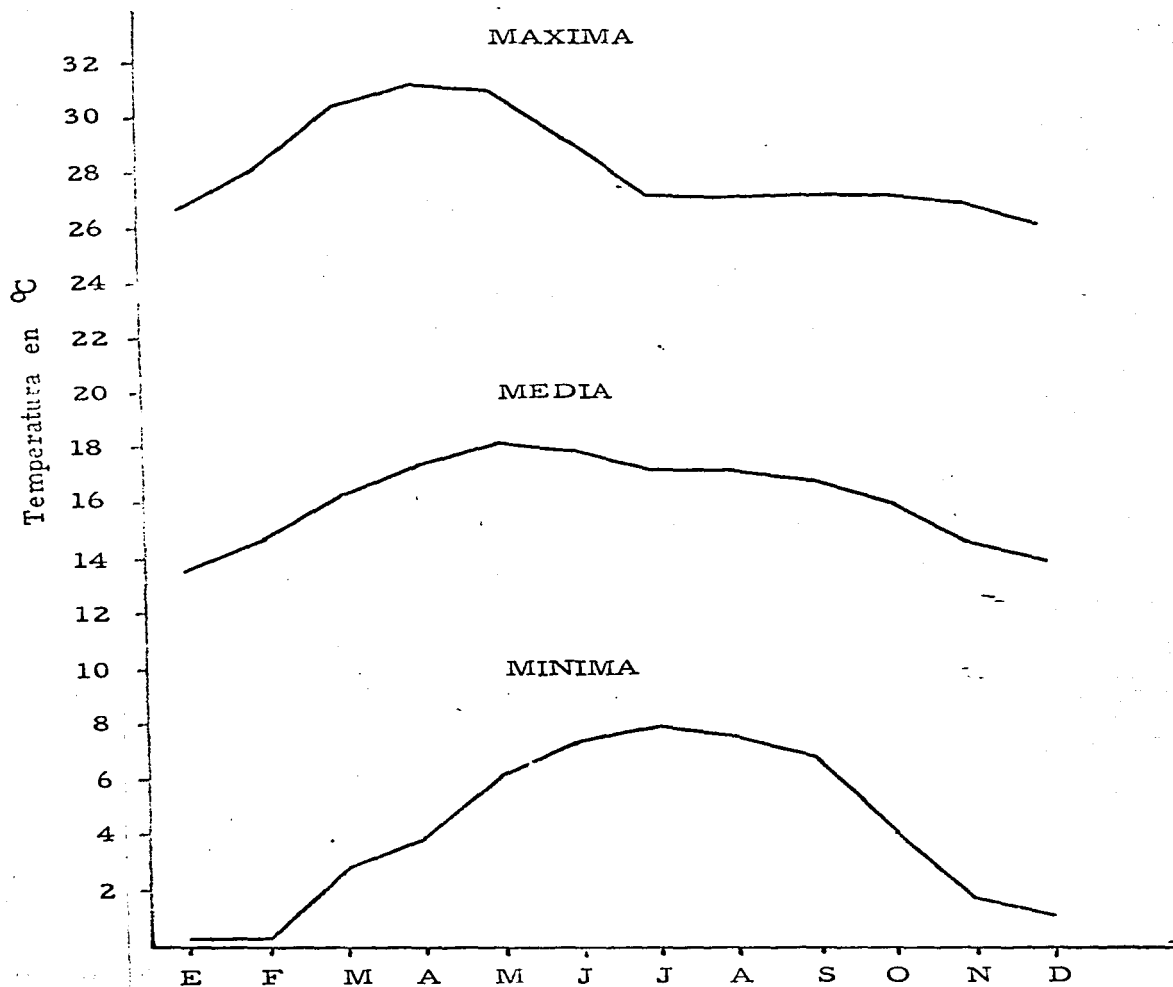
Estación Presa El Tigre



GRAFICA No. 5

TERMOGRAMA

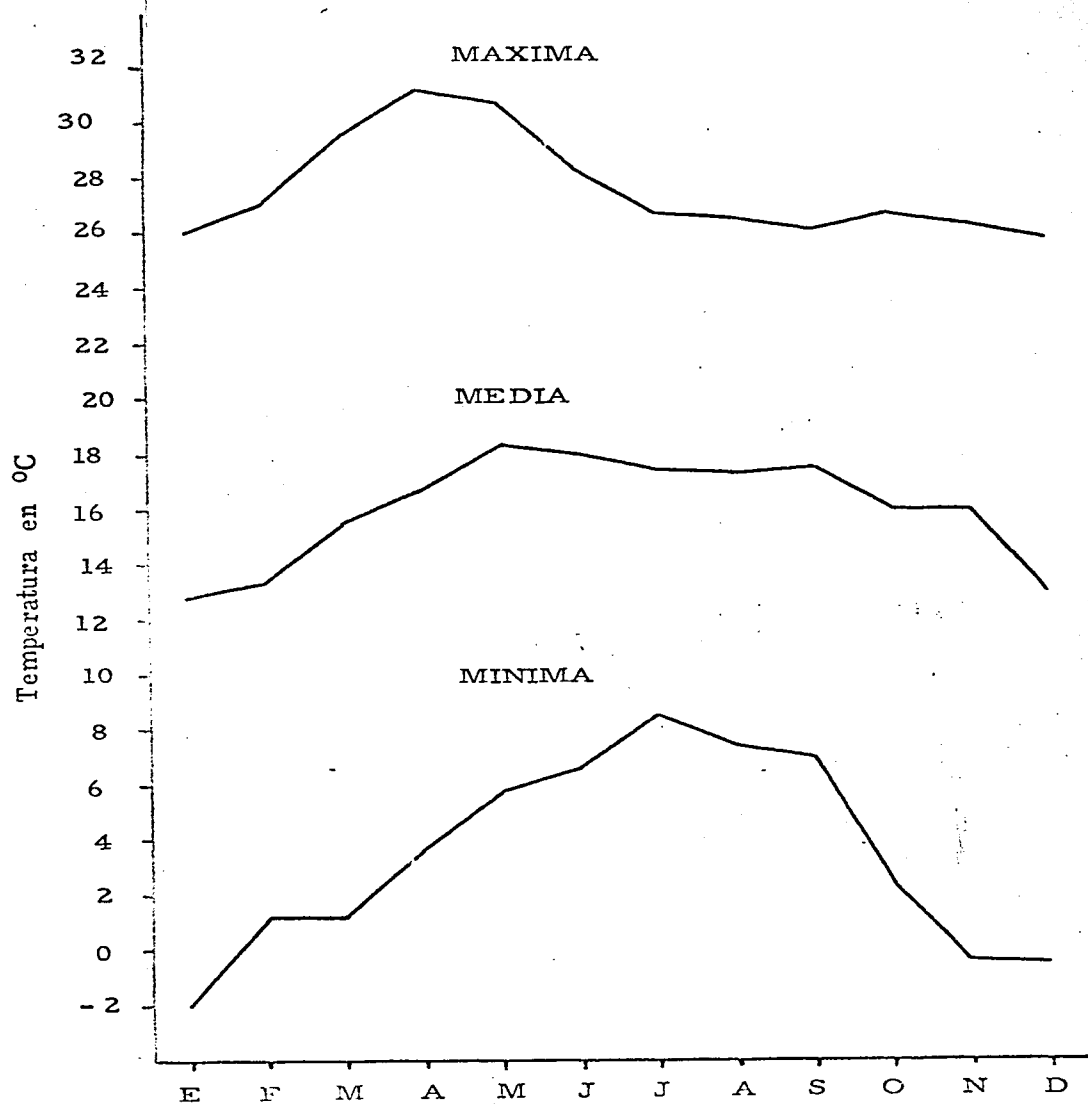
Estación Presa Requena



GRAFICA No. 6

TERMOGRAMA

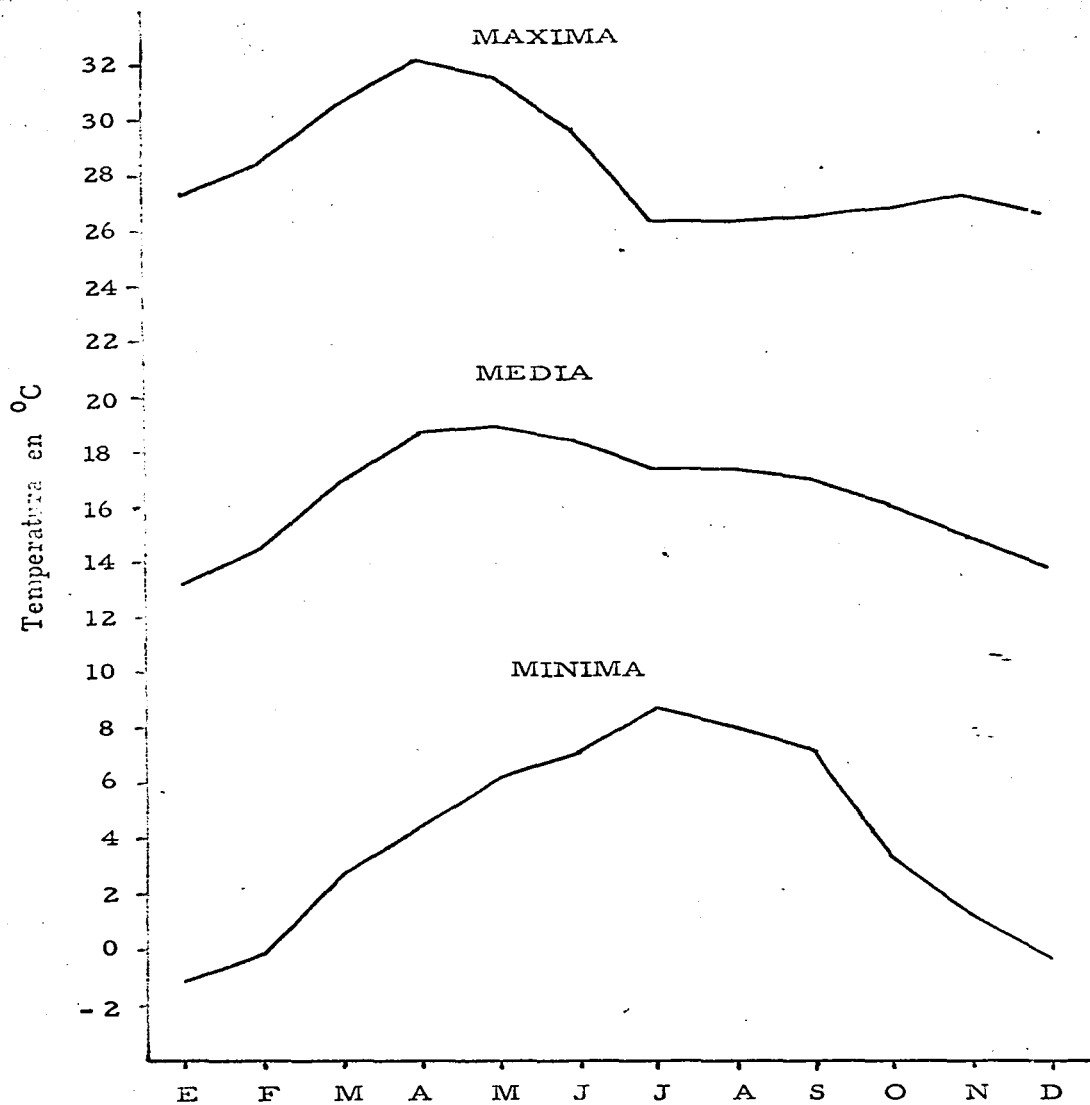
Estación Tepeji Del Río



GRAFICA No. 7

TERMOGRAMA

Estación Presa Taxhimay



producción y distribución de la humedad y de las lluvias. Así, en la cuenca se encuentra una variación del régimen de humedad desde subárido, en el extremo bajo del norte, hasta subhúmedo y húmedo sobre las sierras de la parte sur. Por el norte se encuentra la isoyeta de 600 mm; en el borde inferior de las sierras se localiza la de 800 mm. Sobre las sierras aumenta gradualmente la precipitación, alcanzando hasta 1 400 mm. sobre los 3 000 msnm.

La temporada de lluvias tiene su máximo durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, llegando a registrarse, por promedio, 635.9 mm. de lluvia en la presa El Tigre, situada en la parte alta y húmeda de la cuenca, en tanto que en los mismos meses se registran 379 mm. en la presa Requena situada en la parte seca del norte.

En el transcurso del verano los alisios y las ondas del este causan la mayoría de las precipitaciones, que son tanto de tipo orográfico como convectivo. En el caso de las primeras el relieve constituye una barrera que intercepta las masas de aire húmedas de los alisios, provocando en ellos turbulencias que los obligan a subir, lo que ocasiona un enfriamiento adiabático, saturación del aire y formación de nubes de la familia de los cumulos, sobre los flancos de las sierras, dando lugar a precipitaciones intensas en dichas áreas. Las segundas en su mayoría son vespertinas y nocturnas, debido a que están condicionadas al movimiento advectivo y convectivo del aire que se intensifica después de que se alcanza el caldeamiento máximo, es decir, en las primeras horas de la tarde.

Los tipos de precipitación que se producen por los alisios se inician desde mayo y son típicas en junio; durante julio

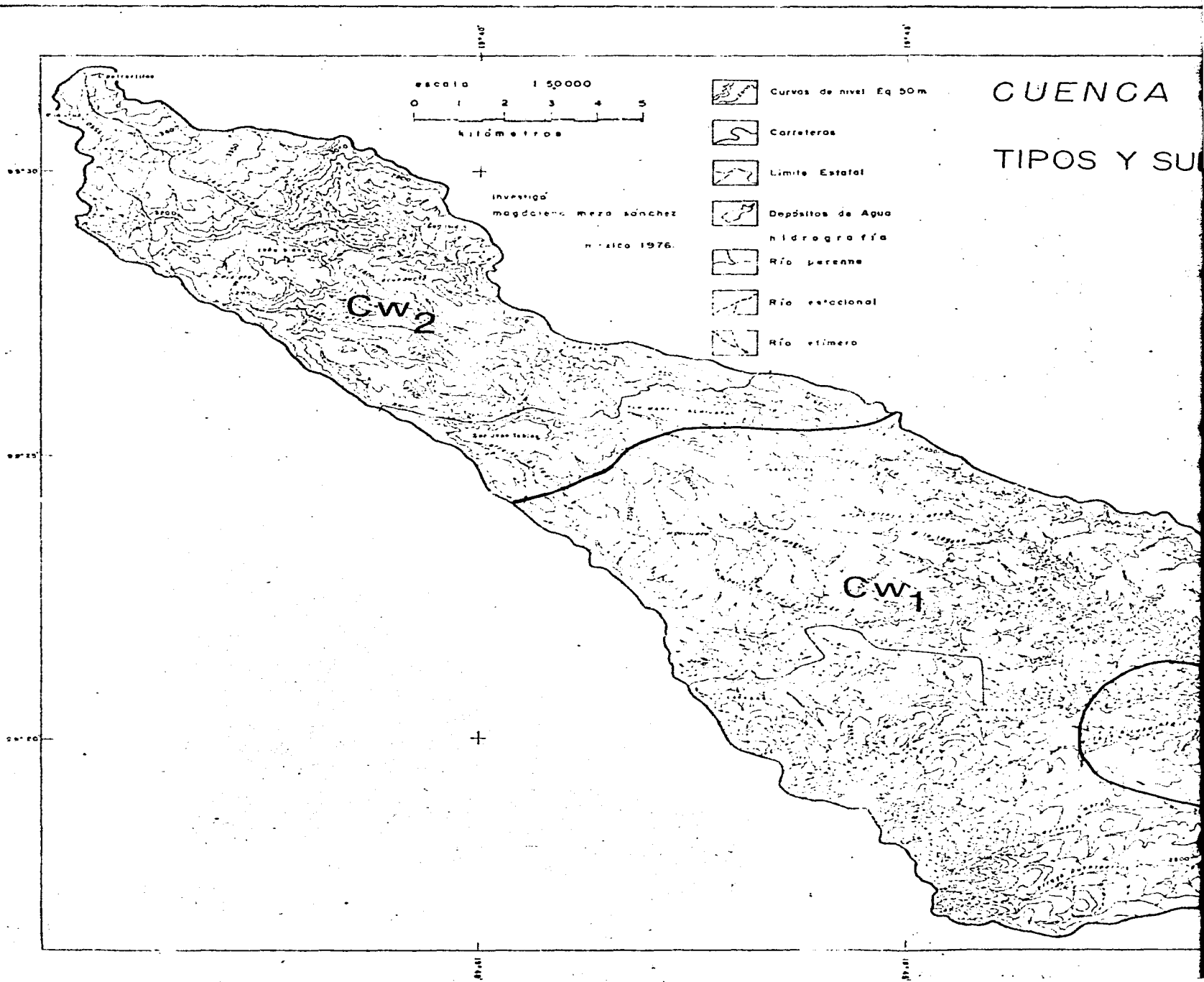
la precipitación decrece, acentuándose la influencia de las ondas del este que se caracterizan por una alternancia de periodos secos y húmedos y que predominan hasta agosto; ambas situaciones producen fuertes aguaceros, chubascos, tormentas eléctricas y grnizo. Es importante considerar aquí que la dirección dominante del viento es del noreste y este, como típico de los alisios, y del sureste cuando existe influencia de las ondas del este.

A fines de verano y principios del otoño, las perturbaciones ciclónicas que se producen, tanto en el Atlántico como en el Pacífico, introducen potentes lenguas de aire húmedo que se presentan como masas frías y húmedas, ocasionando la formación de superficies frontales que producen mal tiempo durante periodos prolongados.

En otoño aumenta la intensidad de la circulación de los vientos del oeste que, en invierno, generan escasas precipitaciones en las partes altas de las sierras, que pueden ser intensificadas por la presencia de vórtices fríos y vaguadas polares. Otras masas de aire más húmedo, que proceden del noreste y que son conocidas como "nortes", producen también lluvias de tipo frontal que causan periodos de 2 a cinco días de mal tiempo. Cuando los vientos polares son intensos y se conjugan con las masas de aire húmedo de los "nortes" se puede provocar precipitación nivosa en las partes altas de las sierras. Sin embargo, la precipitación invernal total no representa en cantidad ni un 5 % de la total anual.

#### 2.6.0 Zonificación climática.

Los tipos y subtipos climáticos para la cuenca, se muestran en el mapa No. 2.

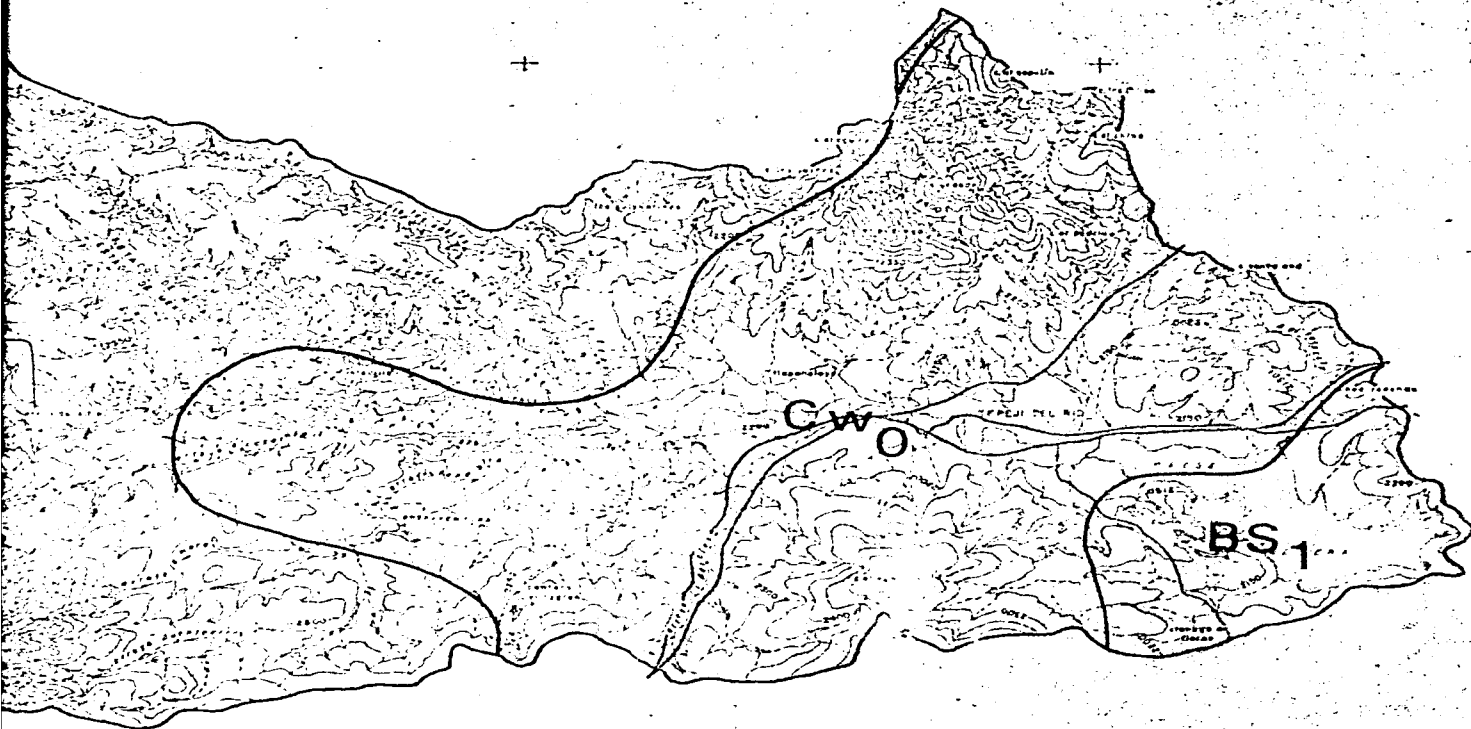




CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO.

TIPOS Y SUBTIPOS CLIMATICOS

mapa No. 2



En él se pueden observar dos tipos climáticos y tres subtipos para uno de ellos<sup>(13)</sup>, así:

En el extremo norte de la cuenca, en una pequeña correspondiente a gran parte de la presa Requena y la región colindante, se presenta el clima BS<sub>1</sub> k w' (w) i g, que significa clima seco estepario, el más húmedo de los secos, con cociente P/T (Precipitación/Temperatura) mayor de 22.9; el régimen térmico templado, de verano cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y la media del mes más caliente superior a 18°C, con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, con un rango menor de 5°C. El régimen de lluvias es de verano, retrasadas al otoño, w' (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, y su porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 % de la total anual (w)).

En el resto de la cuenca el tipo climático esencial es el templado Cw, con tres subtipos que se distinguen por su grado de humedad y de temperatura. Así, en la parte baja de la cuenca se encuentra el subtipo C(w'<sub>0</sub>) (w) b (i') g, clima templado subhúmedo, siendo el más seco, con un cociente P/T menor a 43.2 y lluvias de verano retrasadas al otoño, su régimen térmico es templado con verano fresco y largo, temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y del mes más caliente entre 6.5°C y 22°C; su oscilación térmica está entre 5°C y 7°C y presenta la máxima temperatura antes del solsticio de verano g (tipo ganges).

En la parte del talud, entre los 2 300 msnm y los

(13) García, E. 1964. op-cit.

2 650 msnm se encuentra el subtipo  $C(w_1^i)$  (w) b (i') g, que es el clima templado subhúmedo intermedio en grado de humedad, con cociente P/T entre 43.2 y 55.0 y con lluvias de verano retrasadas al otoño, su régimen y oscilación térmica son idénticos al  $C(w_0)$  y también presenta marcha de la temperatura tipo ganges.

De los 2 650 msnm en adelante, el clima que se presenta es el  $C(w_2^i)$  (w) b (i') g, que corresponde al más húmedo de los tres, con un cociente P/T mayor de 55.0, con lluvias de verano retrasadas al otoño, régimen y oscilación térmicos y marcha anual de la temperatura idénticos a los dos anteriores.

#### 4.0.0.0 Dinámica y características de las variables meteorológicas.

El estudio hidrodinámico regional de cualquier zona requiere del conocimiento funcional de las variables meteorológicas, a fin de determinar adecuadamente la relación de proceso-respuesta en la génesis de la hidrodinámica.

Se sabe que las propiedades físicas y las características dinámicas de la atmósfera se encuentran estrechamente ligadas entre sí; por tanto, aunque se pueden analizar en forma independiente para usos específicos, lo deseable, al tratar de comprender su dinámica, es que se relacionen como un conjunto de elementos y factores en estado de interacción continua.

Sólo así se pueden esbozar y comprender de manera objetiva las características genéticas y dinámicas de la temperatura, la evaporación, la evapotranspiración y, sobre todo, las precipitaciones que son las más importantes en los procesos morfogenéticos e hidrodinámicos de una cuenca; a partir de sus formas, tipos, frecuencia, intensidad y su repartición espacial.

#### 1.0.0 La Precipitación.

Dentro del término " precipitación " se considera toda el agua que a la superficie terrestre llega en forma de lluvia, nieve, granizo, heladas, etc.

A pesar de que las nubes contengan agua, la precipitación no siempre se produce; pues el fenómeno supone no sólo la condensación del vapor de agua, sino, además, requiere que la for

mación de las gotas de agua adquieran las dimensiones y el peso suficiente para vencer la resistencia de las capas inferiores del aire, y caer por influencia de la gravedad.

Durante el tiempo de su formación y permanencia en la atmósfera, la precipitación tiene más interés para la meteorología, pero una vez que cae al suelo, se convierte en un elemento básico de la hidrodinámica. Así, la precipitación es el factor genético más importante de la escurrimiento y, básicamente, del escurrimiento. Por ello, los factores que determinan la precipitación rigen indirectamente el régimen hidrológico, de manera que las variaciones en el tiempo y en el espacio de la primera se reflejan a menudo en variaciones del escurrimiento como una función dinámica de proceso-respuesta<sup>(18)</sup>.

En una región montañosa, como la que nos ocupa, la precipitación media varía en función de la altura, de manera que sus valores, generalmente, crecen con la altitud; dependiendo su forma, intensidad y frecuencia de la exposición y características de las laderas que frenan y perturban la circulación del aire.

Las formas de precipitación más comunes, que ocurren en el área en estudio, son: lluvia, granizo y nieve.

La lluvia se puede clasificar, de acuerdo con el tamaño de las gotas, en: llovizna, con diámetro menor de 5 mm; la lluvia propiamente dicha, con diámetro mayor de 5 mm y los chubascos, que son lluvias de corta duración y de gran intensidad, con diámetros grandes y variables.

(18) Grisolle, H. y otros 1962. "Climatologie, méthodes et pratiques" Monographies de Météorologie, Gauthier-Villars-Paris.

El granizo es un tipo de precipitación común a las lluvias orográficas y convectivas; según su intensidad, los diámetros de sus granos fluctúan de 5 mm a 20 mm; sin embargo, pueden alcanzar dimensiones mayores. Están constituidos por un núcleo central de hielo esponjoso y una gruesa envoltura compuesta por capas alternadas de hielo transparente y hielo opaco; se genera dentro de las nubes cumulonimbos, por fuertes turbulencias debidas a ascensos violentos y forzados de las masas de aire en las sierras, así como, también, por fenómenos de convección, lo que ocurre con más frecuencia en el verano.

La nieve es otra forma de precipitación sólida que ocurre en la parte alta de la cuenca. En algunas nubes cumulonimbos el congelamiento de las gotitas de agua originan núcleos de hielo a partir de los cuales se desarrollan, por condensación, láminas o prismas hexagonales que constituyen los cristales de nieve; la aglomeración de éstos como resultado de choques, lleva a la formación de los copos de nieve, esto es más fácil si la superficie de los cristales está húmeda (19).

También se presentan otros fenómenos, como el rocío y las heladas que tienen importancia por la humedad que aportan al suelo; también particularmente, las heladas tienen gran importancia económica por los graves daños que causan a la agricultura.

Cuando se produce la helada blanca, también conocida como escarcha, es menor el daño porque se forma con la presencia de

(19) Haynes, B. C. 1943 "Meteorología para pilotos de aviones". Department of State. Publicación TC - 207, Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos, Washington, D.C. p. 40.

vapor de agua, mientras que cuando ocurre la helada negra, ésta es más dañina porque es un descenso térmico en seco, ya que el punto de rocío baja mucho porque no hay suficiente vapor de agua que se condense y amortigüe el congelamiento de los jugos vacuolares (20).

### 1.1.0 Los tipos de precipitación.

Los diversos tipos de precipitación que se presentan en la cuenca son los siguientes:

#### 1.1.1 Precipitación orográfica.

Esta se manifiesta comúnmente durante el año, a partir de los 2 600 m., generada en los vientos anabáticos que provocan enfriamientos adiabáticos que dan origen a la saturación del aire y a la formación de nubes del tipo estratos y cúmulos que, en invierno y verano principalmente, ocasionan una precipitación vespertina y nocturna.

Durante el verano, y bajo las condiciones de clima continental que determinan un alto nivel de condensación, el efecto principal del relieve se nota por la inducción o la precipitación convectiva de las nubes de desarrollo vertical. Sin embargo, este fenómeno debe diferenciarse de la precipitación orográfica estricta, que es la que ocurre sobre las tierras altas sin que haya ninguna precipitación en las partes más bajas que las rodean (21);

(20) L. de Fina A. y Ravelo C.A. 1973. " Climatología y Fenología Agrícolas" Biblioteca del Universitario, Manual de las Ciencias Naturales. EUDEBA, Buenos Aires.

(21) Barry R. G. y Chorley R. J. 1971 " Atmosphere, Weather and Climate" Methuen and Co. Ltd, London, Great Britain.

así como, también, de la precipitación de componente orográfico, que es una variante del efecto de barrera de las sierras sobre las precipitaciones convectivas y ciclónicas, influenciadas en un momento dado por su alineamiento al drenaje del aire, y por el relieve mismo de las montañas.

#### 1.1.2 Precipitación de tipo ciclónico.

El mecanismo esencial que genera estas lluvias se debe al ascenso de corrientes de aire cálido húmedo embebido en las masas de aire marítimo tropical que invaden el aire a finales del verano, provocando una frontogénesis tipo frente frío que determina mal tiempo por periodos mayores a 2 o 3 días. En tal situación se producen precipitaciones continuas, de moderadas a violentas, principalmente sobre las vertientes medias, y se deben tanto a procesos convectivos como de componente orográfica.

#### 1.1.3 Precipitaciones por convección o convectivas.

Estas se forman por el enfriamiento adiabático del aire húmedo que asciende por el calentamiento de la superficie sobre la que descansa, y generalmente se asocia a nubes de desarrollo vertical, del tipo cúmulos congestus y cumulonimbos.

Las celdas convectivas se desarrollan principalmente a principios del verano, cuando la superficie del suelo está más caliente, y especialmente cuando las diferencias térmicas de la troposfera baja determinadas por masas tardías de aire frío favorecen la inestabilidad convectiva. La precipitación puede ser abundante y a menudo incluye granizo o tormenta eléctrica o ambos aun cuando no se produzcan truenos y relámpagos. Este tipo de lluvias no abarca gran extensión, ya que las nubes que las provocan cubren



pequeñas áreas; además, el ascenso tan brusco que sufre el aire hace que precipite su humedad muy rápidamente, produciendo lluvias abundantes y de corta duración.

#### 1.2.0 Otras fuentes de humedad.

Otra causa de producción de humedad en la troposfera baja en contacto con la superficie del suelo es la irradiación y enfriamiento de éste, lo que provoca que el aire cercano a él también se enfríe originando un decrecimiento de la tensión del vapor de agua, que llega incluso a la saturación del aire dando lugar a la formación de nieblas (nubes bajas con su base en el suelo, que impiden la visibilidad en la superficie terrestre), rocío y heladas o escarcha. Todos estos fenómenos son favorecidos cuando, además, existen condiciones de cielos despejados, poco o nada de viento, atmósfera relativamente seca y noches largas. Al caer la temperatura de la franja de aire próxima al suelo por abajo del punto de rocío, tiene lugar la condensación que puede ser en forma de agua líquida, si el punto de rocío está a una temperatura mayor de 0°C o, bien, si dicho valor es menor de 0°C, se produce en forma sólida dando lugar a la escarcha <sup>(21)</sup>.

#### 1.3.0 Cálculo del valor medio de la precipitación.

Una vez que el agua llega al suelo se distribuye sobre éste en diferentes formas: una parte es interceptada por las plantas, otra se deposita en almacenamientos superficiales o se infiltra incrementando las corrientes subterráneas, saturando el suelo,

(21) Barry R. G. y Chorley R. J. 1971 op-cit.

y la restante escurre hacia los cauces naturales de drenaje llegando a formar las corrientes.

Todas las formas de precipitación son medidas según la altura vertical que alcanza el volumen precipitado sobre el suelo.

La variabilidad de los valores alcanzados por las lluvias en terrenos montañosos, como en este caso, es mayor que la que ocurre en terrenos planos; por tanto fue necesario considerar y ensayar varios métodos, con la intención de afinar al máximo el cálculo de la precipitación media en el área.

Un método considerado fue el de los " polígonos de Thiessen " (22), que consiste en unir con líneas las estaciones; posteriormente se trazan bisectores perpendiculares a cada línea de conexión hasta cercar con un polígono cada estación. El área delimitada es, supuestamente, la que representa la precipitación obtenida en la estación incluida.

Los polígonos se miden obteniendo el área que abarcan, estas áreas se multiplican por la precipitación, en mm, de la estación representativa de cada área; posteriormente se suman los volúmenes obtenidos en  $m^3$ , y se dividen entre el área total de la cuenca obteniéndose, de esta manera, la precipitación media.

El cálculo de la precipitación media por este método se expresa en la Tabla No. 2.

(22) Chow, Ven Te. 1964 " Handbook of Applied Hydrology. A Compendium of Water resources Technology ". MacGraw-Hill Book Company, U.S.A., p. 9-28, 9-29.

Tabla No. 2. Cálculo de la Precipitación media por el método de " polígonos de Thiessen ".

1.E	2.Area del polígono en Km <sup>2</sup>	3.Precipitación en mm.	4.Volumen en m <sup>3</sup> (2X3)	5. $\frac{\sum 4}{\sum 2}$
1	93.293	663.7	60 985.63	
2	54.118	679.3	36 762.35	
3	38.393	692.7	26 594.83	
4	27.443	1213.7	33 307.56	
5	50.118	1200.0	60 141.60	
6	114.868	833.7	95 765.45	
7	27.469	1200.5	32 976.53	
Totales	405.702	6145.6	346 533.95	<u>854.16 mm.</u>

Por este método se obtuvo una precipitación media de 854.16 mm. Sin embargo, este método tiene cierto grado de error debido a que, en zonas montañosas, como en este caso, la estación puede encontrarse en la parte baja y, por lo menos, la mitad del área que incluye el polígono estar en partes altas con una diferencia notable en la lluvia recibida; y si se toma en cuenta el hecho de que aproximadamente 230 Km<sup>2</sup> reciben una precipitación superior a 800 mm anuales y sólo en 176 Km<sup>2</sup> caen precipitaciones menores a 800 mm, se puede deducir que el error que tiene este método es suficientemente fuerte como para no aplicarlo a este estudio.

El método que resultó más adecuado para este caso fue el del " mapa de isoyetas " <sup>(22)</sup>, que consiste en trazar isolíneas de igual pre

(22) Chow, Ven Te, 1964. op-cit.

precipitación (isoyetas), que da una idea más precisa de la distribución de la precipitación, ya que para trazarlas se siguen aproximadamente las curvas de nivel, considerando que, en general, la lluvia aumenta con la altitud del terreno.

Para calcular la precipitación media en un mapa de isoyetas se miden las áreas comprendidas entre cada dos isoyetas y se multiplican por la precipitación media de las dos isoyetas, obteniéndose el volumen en  $m^3$ . Posteriormente, para obtener la precipitación media se suman todos los volúmenes obtenidos y se dividen entre el área total de la cuenca.

El cálculo de la precipitación media por este método está expresado en la tabla No. 3.

Tabla No. 3. Cálculo de la precipitación media por el método del " mapa de isoyetas ".

1. Isoyetas en mm.	2. Area entre cada 2 isoyetas Km <sup>2</sup>	3. Precipitación media en mm.	4. Volumen en m <sup>3</sup> (2X3)	5. $\frac{\Sigma 4}{\Sigma 2}$
- 600	9.200	500	4 600 000	
600- 800	167.600	700	117 320 000	
800-1000	121.500	900	109 350 000	
1000-1200	42.450	1 100	46 695 000	
+ 1200	105.030	1 300	136 539 000	
<b>Totales</b>	<b>405.700</b>	<b>4 500</b>	<b>414 504 000</b>	

1 021.7 mm.


Por este método se obtuvo una precipitación media de 1 021.7 mm.


CUENCA B.


ISOYETAS M.


escala: 1:50 000




 Curvas de nivel Eq 50m


 Carreteras

 Límite Estatal

 Depósitos de Agua

hidrografía

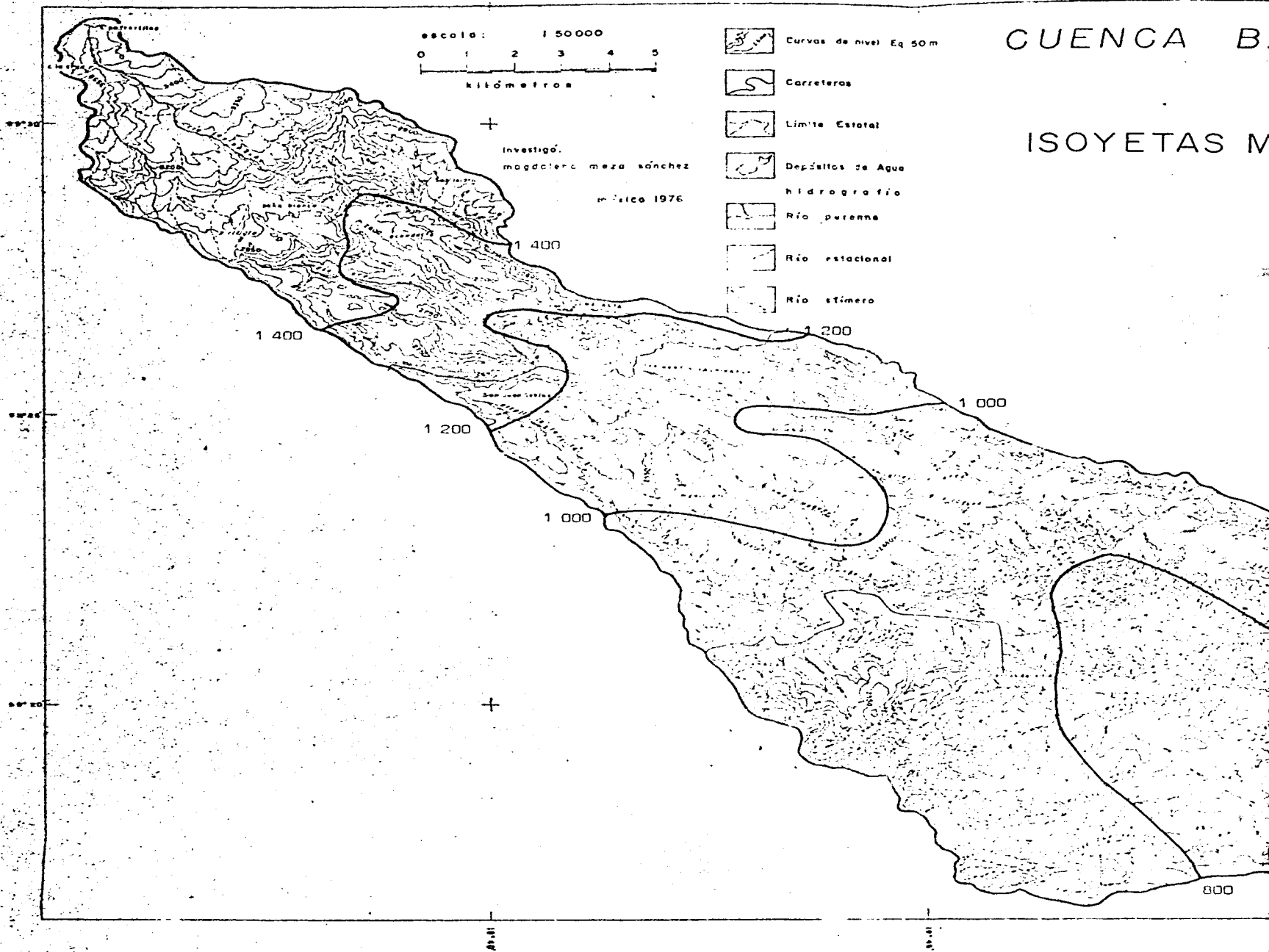
 Río perenne

 Río estacional

 Río estímero

Investig.  
magdalena meza sánchez

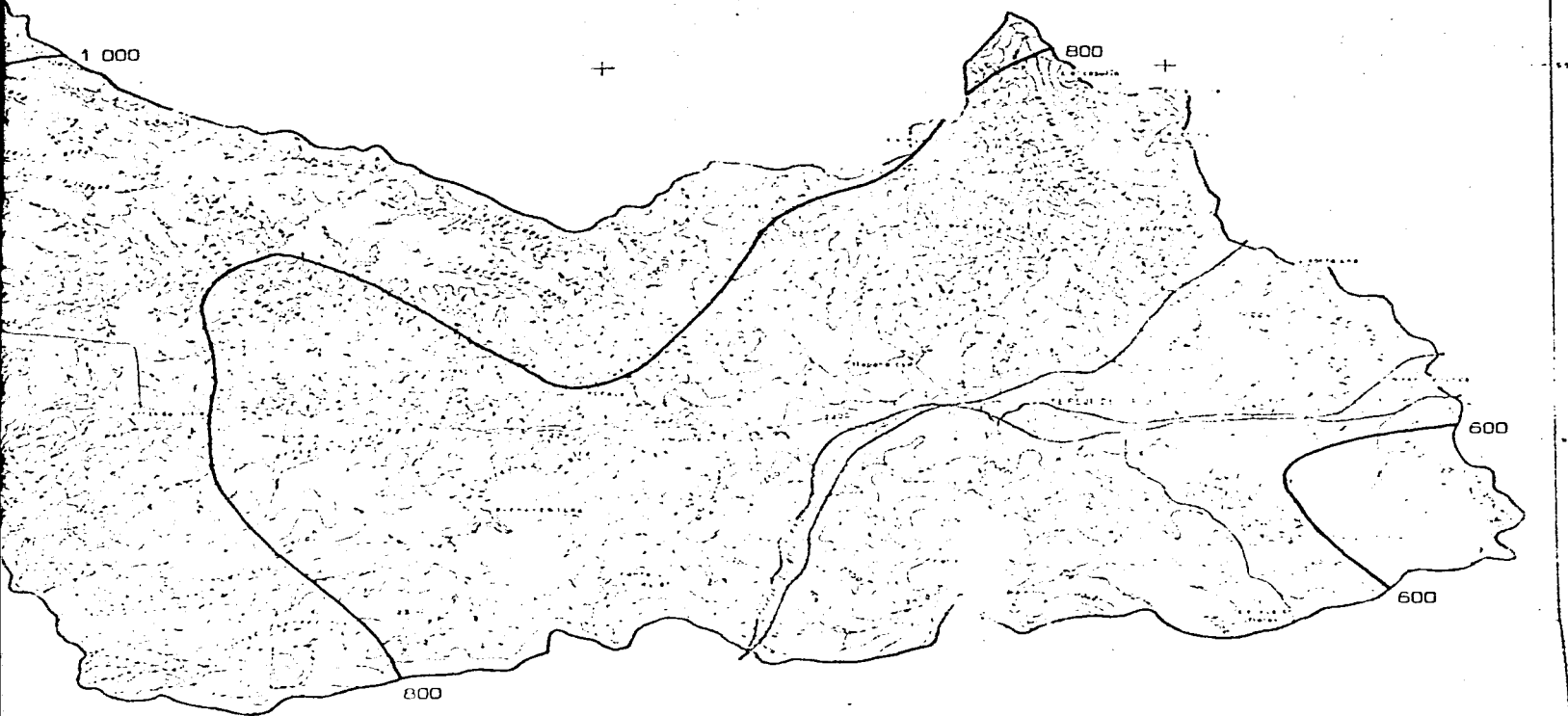
marzo 1976



CUENCA BAJA DEL RIO TEREJI, HGO.

ISOYETAS MEDIAS ANUALES

mapa No. 3



Así, dado que el método utiliza el aumento de la precipitación en relación con la altura (toma en cuenta el relieve), se considera más exacto, y puesto que en la cuenca existe una diferencia de altitud muy grande entre la cabecera y la salida de la misma, (1 565 m.) se consideró que es el más confiable.

En la tabla No. 4, se muestra la distribución de la precipitación media por subcuencas.

Tabla No. 4. Distribución de la precipitación media por subcuencas.

Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>	Vol. de precipita ción en m <sup>3</sup>	Precipitación media	%
1. Río Los Sabios	69.155	70 655 716	174.17	17.0
2. Río El Oro	91.481	93 465 185	230.38	22.5
3. Río Los Arcos	79.730	81 460 201	200.79	19.7
4. Ay. Peña Alta	46.755	47 769 619	117.74	11.5
5. Presa Requena	118.581	121 153 276	298.62	29.2
Totales	405.702	414 503 997	1 021.70	99.9

## 2.0.0 La temperatura del aire.

Un gran número de fenómenos físicos tales como evaporación, congelación del agua, escarcha, heladas, transpiración e insolación, están ligados a la temperatura del aire.

Toda vez que la medida de la temperatura, incluso la efectuada directamente al sol no es de hecho la temperatura del aire en sí, sino la de los cuerpos (termómetros u otros sensores) expuestos directamente

o indirectamente a la radiación lumínica y calórica, no existe una medida que, en general, se pueda calificar como "temperatura del aire".

La temperatura aquí referida es la que se obtiene a la sombra, en un abrigo meteorológico. Al amanecer, la temperatura del aire propiamente dicha es sensiblemente la misma a la sombra que al sol, ya que el aire, al ser atravesado por la radiación solar, sólo absorbe una pequeña parte de la misma; durante el transcurso del día la ganancia térmica del aire proviene de irradiación del suelo que se continúa hasta las 14 o 15 horas cuando se alcanza el máximo. Durante el atardecer y durante la noche se pierde energía hasta las 5 o 6 horas en que se alcanza la temperatura mínima. Todo esto determina que, desde el punto de vista térmico, las primeras capas de aire situadas sobre el suelo presenten dos estados térmicos característicos, uno diurno y otro nocturno.

El diurno presenta una temperatura superficial muy elevada con relación a las capas de aire que se le sobreponen y a las que calienta por contacto y transmisión; el gradiente térmico es muy marcado y en ellas la temperatura decrece rápidamente a partir del suelo, lo que se nota fácilmente cuando la atmósfera está calmada y la turbulencia es débil.

En el estado nocturno se presenta un gradiente térmico inverso, es decir, un aumento de la temperatura del aire en relación con la altura sobre el suelo. Esta situación provoca inversiones continuas de temperatura que son más pronunciadas en el invierno con cielos claros y aire estable; así, durante las noches invernales se acentúa el fenómeno al acumularse diariamente, en el fondo de los valles, capas de aire frío que se estancan y en



las cuales la temperatura puede ser hasta 10°C menor que la que se encuentra en las partes más elevadas. En tanto que en los flancos de los valles, generalmente a alturas entre los 2 300 msnm y 2 600 msnm existen áreas donde la temperatura mínima es mayor (de 4°C) que la del fondo (de 3°C), de manera que forman el umbral de la inversión de la temperatura nocturna entre el plan y la montaña.

Durante el día las temperaturas máximas decrecen sobre las laderas, a partir del plan, aunque con menor rapidez a como aumentan las temperaturas mínimas nocturnas; en las mismas se observa que la temperatura media cotidiana es más elevada, lo que determina que la oscilación térmica en las partes altas sea más pequeña que en las bajas.

Otro aspecto que influye en los cambios térmicos del lugar es la exposición al sol; así, Grisollet<sup>(18)</sup> indica que las diferencias de energía solar recibida pueden llegar a ser hasta de 25 % en el transcurso del año, valor que es suficiente para influir, desde un punto de vista meso y microclimático, en las condiciones de un lugar. En el área se nota una fuerte influencia de dicho fenómeno, ya que los valles profundos orientados sur-norte y las vertientes expuestas al oeste y noroeste son sensiblemente más frías y húmedas que las expuestas al este y sureste.

#### 2.1.0 Cálculo del gradiente térmico.

Gran número de experimentos han demostrado que, bajo condiciones normales en la troposfera, la temperatura aumenta o,

(18) Grisollet H. y otros. 1962. op-cit.

disminuye con la disminución o aumento, respectivamente, de la altitud. Este cambio no es uniforme, ya que varía de acuerdo con la hora del día, la estación del año y la situación del lugar; sin embargo, el promedio mundial es de 0.65°C por cada 100m. de altitud y se le conoce como " gradiente térmico vertical ", este gradiente varía en cada región o localidad, por lo cual es necesario tener su valor real a fin de obtener su valor exacto con respecto a la variación térmica en altura.

Para obtenerlo, es necesario partir del principio de que la temperatura disminuye al aumentar la altitud. Así, se calcula la diferencia de altura de dos estaciones de altitud conocida que tengan datos de temperatura, que se encuentren a una latitud similar y que estén situados en la misma región geográfica. Entonces se utiliza la siguiente fórmula:

$$X = \frac{100 (\text{diferencia en temperatura en } ^\circ\text{C})}{\text{diferencia en altura en metros.}}$$

en donde:

X = gradiente térmico, disminución de temperatura por cada 100 m. de aumento en altitud.

Empleando los gradientes térmicos se pueden calcular las temperaturas de lugares de los que no se tienen datos, utilizando las temperaturas conocidas de otros lugares y el gradiente térmico calculado para ellos.

En esta cuenca se utilizaron las estaciones presa El Tigre, con 19°37' de latitud Norte y 2 980 msnm; y Tepotzotlán, con 19°43' de latitud Norte y 2 190 msnm; aun cuando la diferencia en

latitud es de 06', son las que mejor se adaptan a fin de obtener el gradiente térmico vertical, puesto que su diferencia en altura es lo suficientemente grande para obtenerlo.

Para temperatura media anual el gradiente es de 0.48°C por cada 100 m., para temperatura mínima, de 0.58°C y para la temperatura máxima, de 0.40°C por cada 100 m. de altitud.

Con esto también se puede ver que, además de cambiar el gradiente térmico vertical en cada región o localidad, también cambia con cada tipo de temperatura (máxima, media o mínima) en una misma región o localidad.

Con dicho fin se calcularon las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales y anuales. Así, con los datos obtenidos de las estaciones y utilizando los gradientes térmicos con los tres tipos de temperatura, es como se trazaron las isotermas medias, máximas y mínimas de la cuenca.

Las isotermas obtenidas de esta manera se llaman " no reducidas " (al nivel del mar), y se encuentran estrechamente ligadas con el relieve por lo que presentan grandes irregularidades, ya que tienden a seguir los contornos de éste, encontrándose valores menores en lugares altos y mayores en lugares bajos.

## 2.2.0 Isotermas medias, máximas y mínimas.

De acuerdo con este patrón, con los datos de las cuatro estaciones utilizadas, e interpolando a toda la cuenca, se hicieron los mapas de isotermas medias anuales, máximas y mínimas; ahora bien, en los dos primeros las isotermas van, en forma descen-

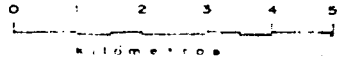
19°40'









19°40'

CUENCA

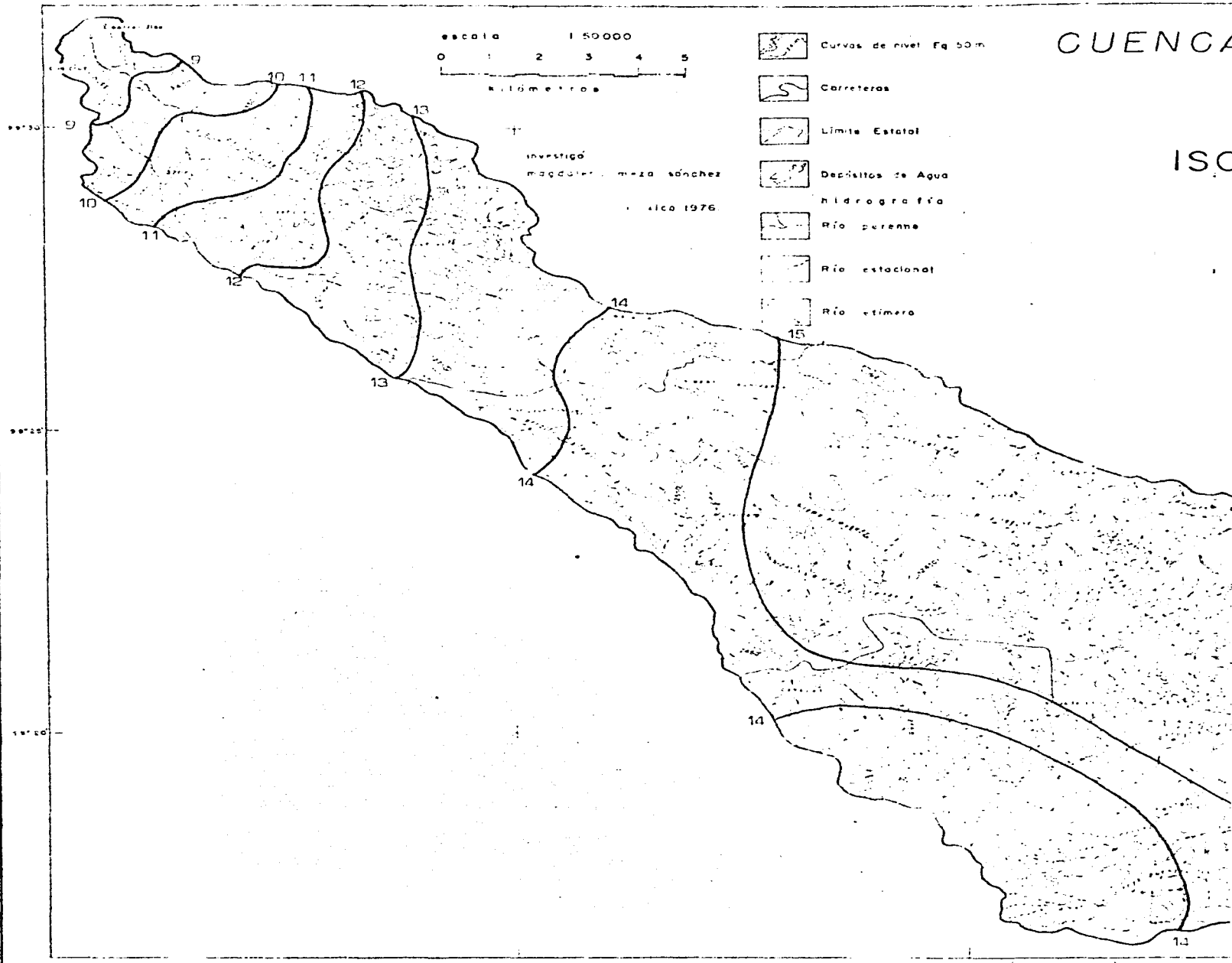
ISCO

escala 1:50000



-  Curvas de nivel Eq 50m
-  Carreteras
-  Límite Estatal
-  Depósitos de Agua
-  Hidrografía
-  Río perenne
-  Río estacional
-  Río estimero

investigó  
magnolia meza sánchez  
julio 1976



78°40'

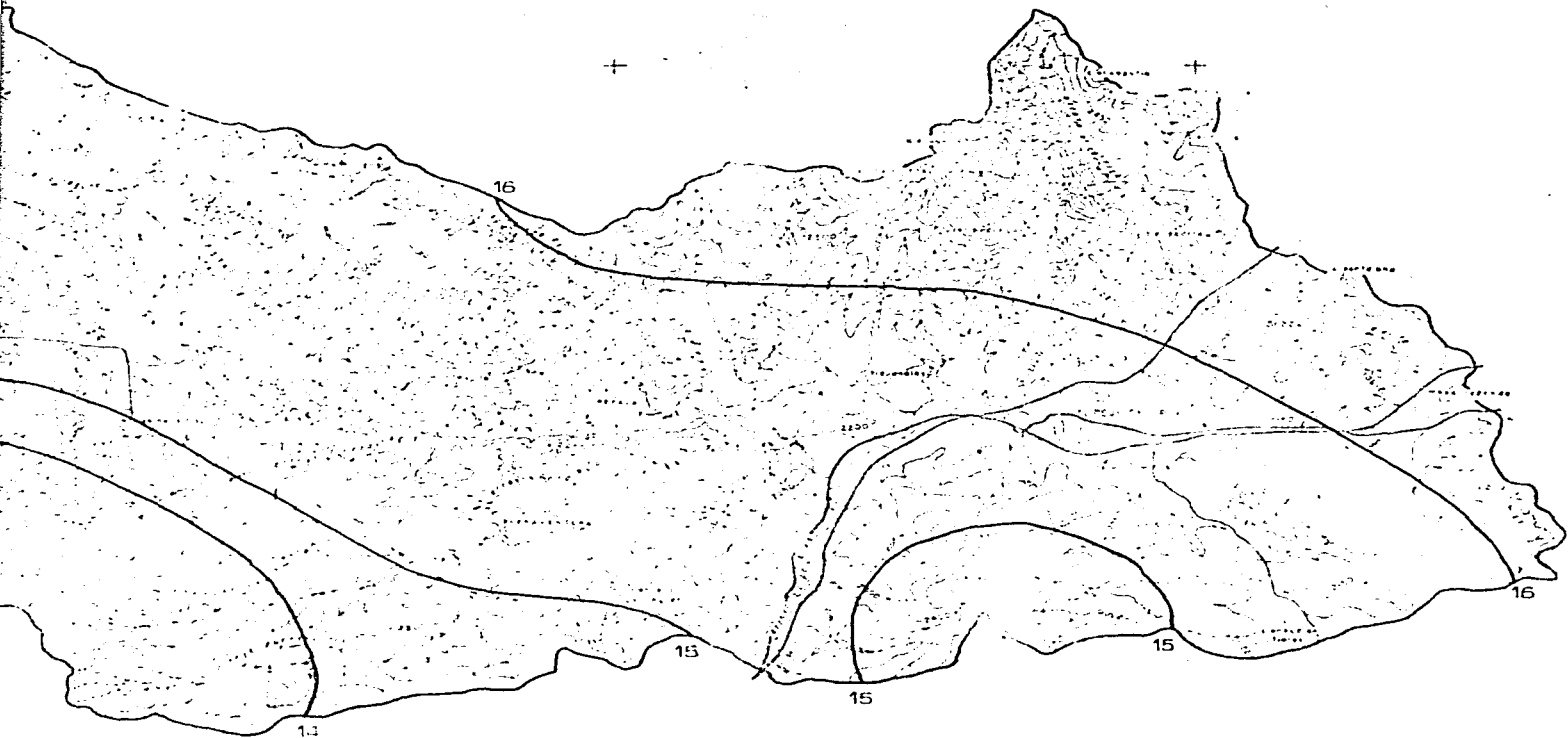
78°20'

13

CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO. ———→ N

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES

mapa No. 4

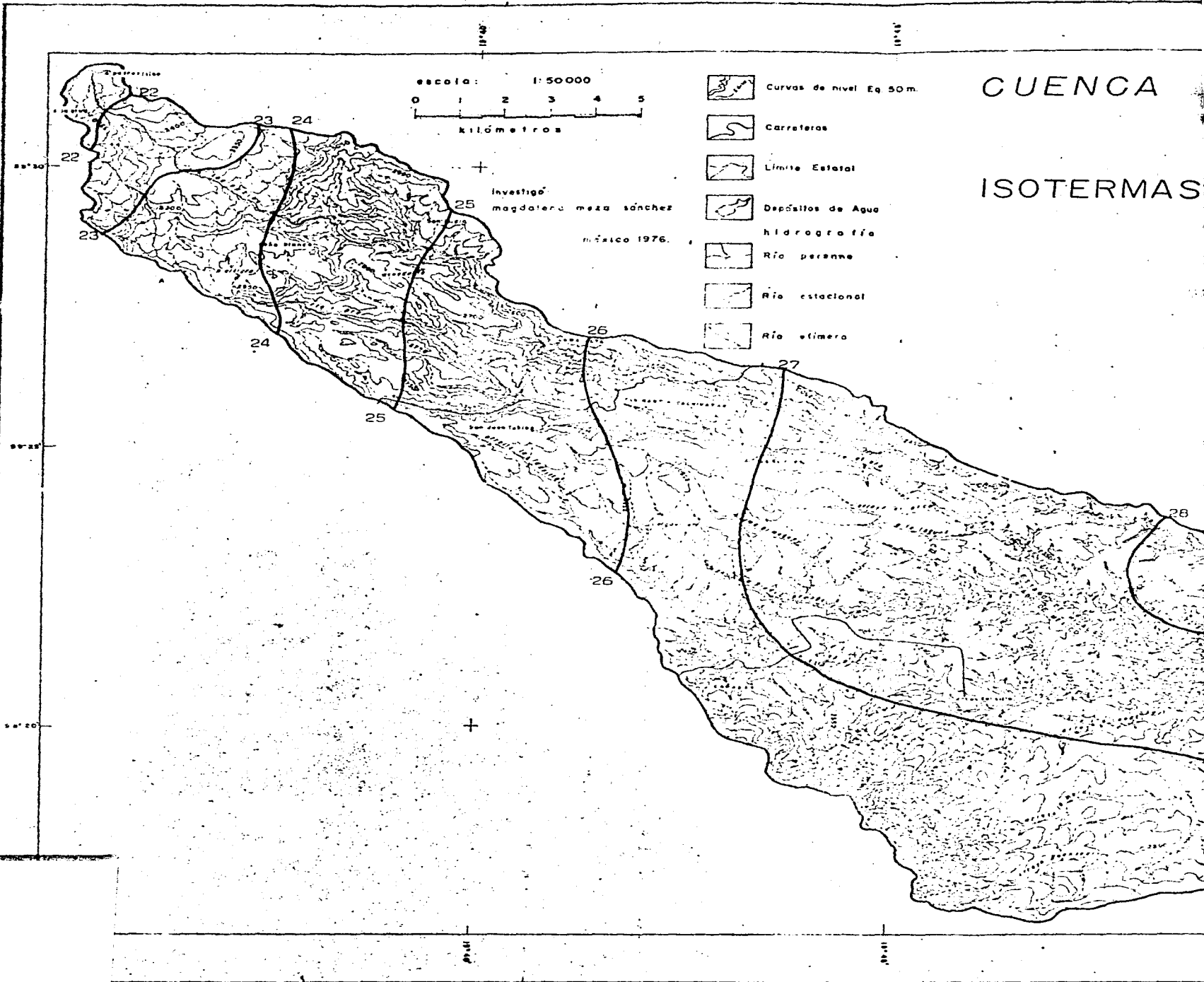


dente, de la parte baja de la cuenca a la parte alta.

Así, la isoterma media de 16°C se localiza a altitudes de 2 100 m a 2 150 m en el norte de la cuenca; a mayor altitud, entre 2 300 m y 2 350 m encontramos la de 15°C, y así sucesivamente, conforme se asciende hacia el sur, a la cabecera de la cuenca, las temperaturas van disminuyendo, aproximadamente 0.96°C por cada 200 m., llegando así a alturas de 3 500 msnm. donde se puede encontrar la isoterma de 9°C.

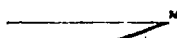
En cuanto a las isotermas máximas, se observa la secuencia de la temperatura, de 28°C en la parte baja a 22°C en la parte alta, disminuyendo aproximadamente 1°C cada 250 m de altitud. Durante el día y la época de calor hay un movimiento de las masas de aire que se calientan y ascienden por convección, lo que provoca que las masas de aire frías de las partes altas se calienten, lo que eleva las temperaturas; sin embargo, no llegan a ser tan altas como en las partes bajas, debido a la altitud.

Por otra parte, el mapa de isotermas mínimas presenta ciertas anomalías entre los 2 300 m y los 2 600 m hacia la cima las isotermas disminuyen su valor de 4°C a -3°C; sin embargo, abajo de los 2 300 m, donde la temperatura debería ser mayor de 4°C, sufre un descenso a 3°C y 2°C, localmente, en el fondo del valle. Este fenómeno se explica en regiones de relieve irregular ( como en este caso), porque el aire frío de las cimas, debido a que es más denso, desciende por gravedad a los valles y ahí se estaciona haciendo que la temperatura en ellos sea más baja que en las laderas, lo que ocasiona que se presente una inversión de temperatura, produciendo heladas en la cuenca; la forma en que éstas se presentan es: mayor cantidad de días con heladas en la parte baja de las sierras ( a 2 100 msnm, 50 días) que en las laderas,



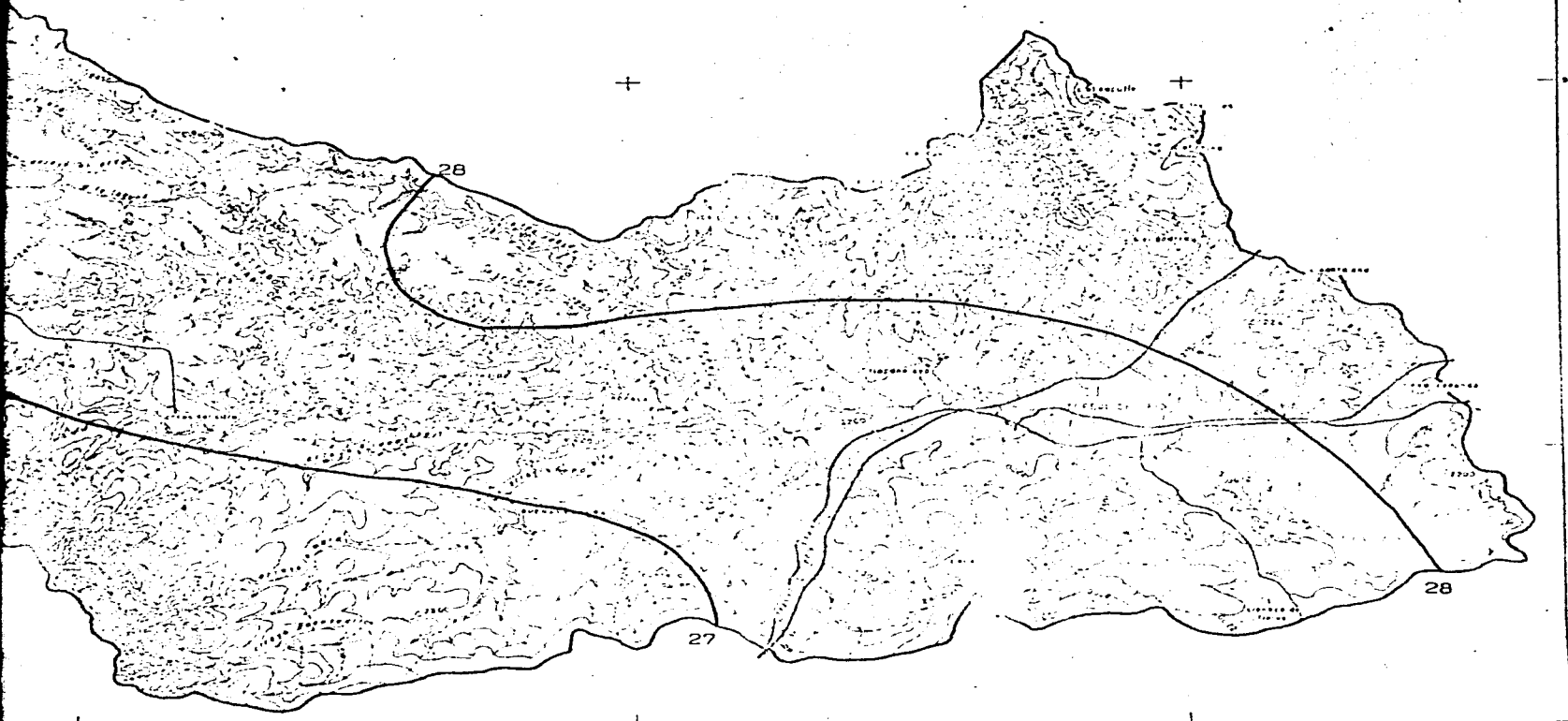
Eq 50m.

# CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO.



## ISOTERMAS MAXIMAS ANUALES

mapa no. 5













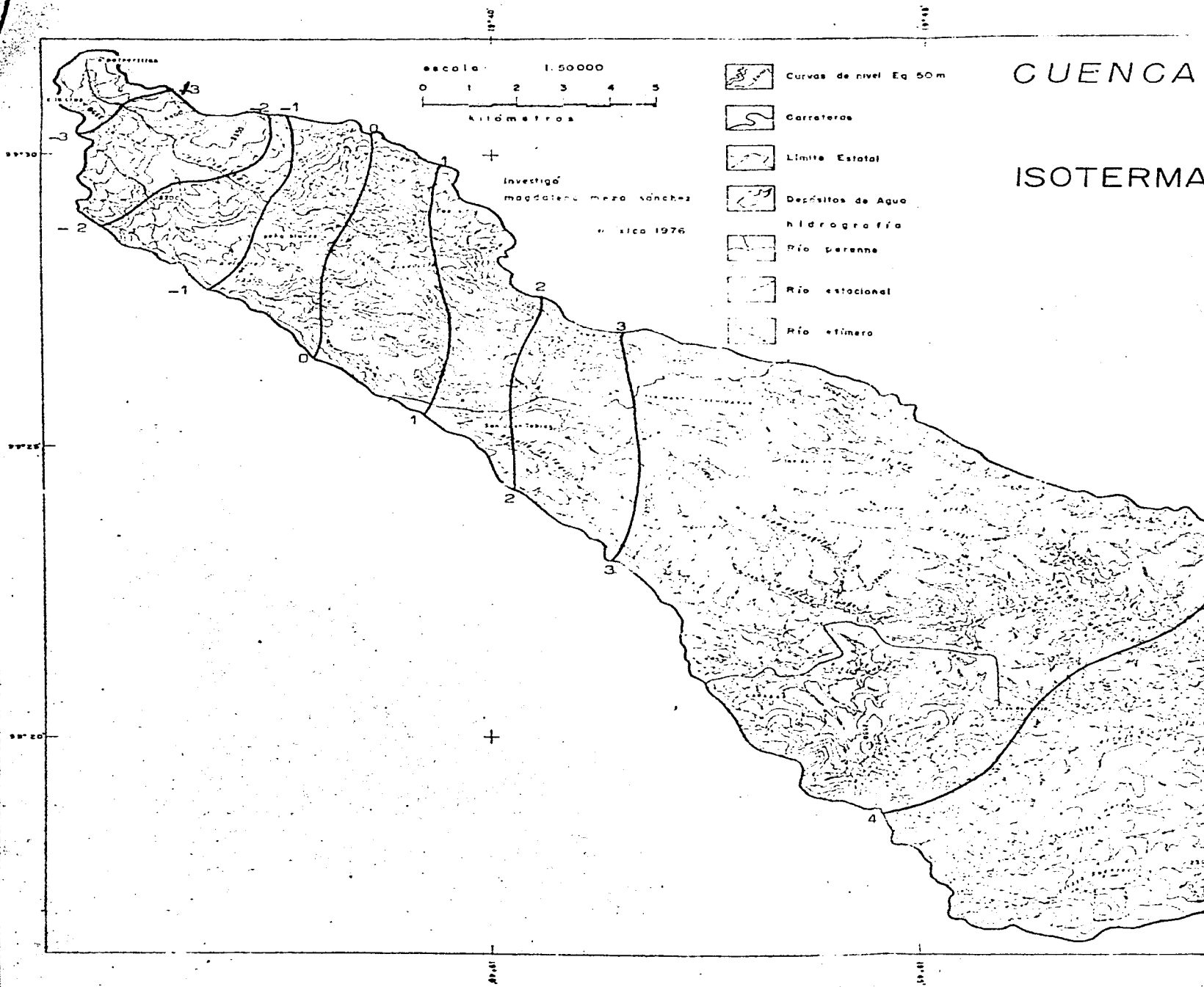
CUENCA

ISOTERMA

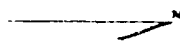
escala 1:50000  
0 1 2 3 4 5  
Kilómetros

-  Curvas de nivel Eq 50 m
-  Carreteras
-  Límite Estatal
-  Depósitos de Agua
-  Hidrografía
-  Río perenne
-  Río estacional
-  Río estimero

Investigación  
magdalena meza sánchez  
México 1976

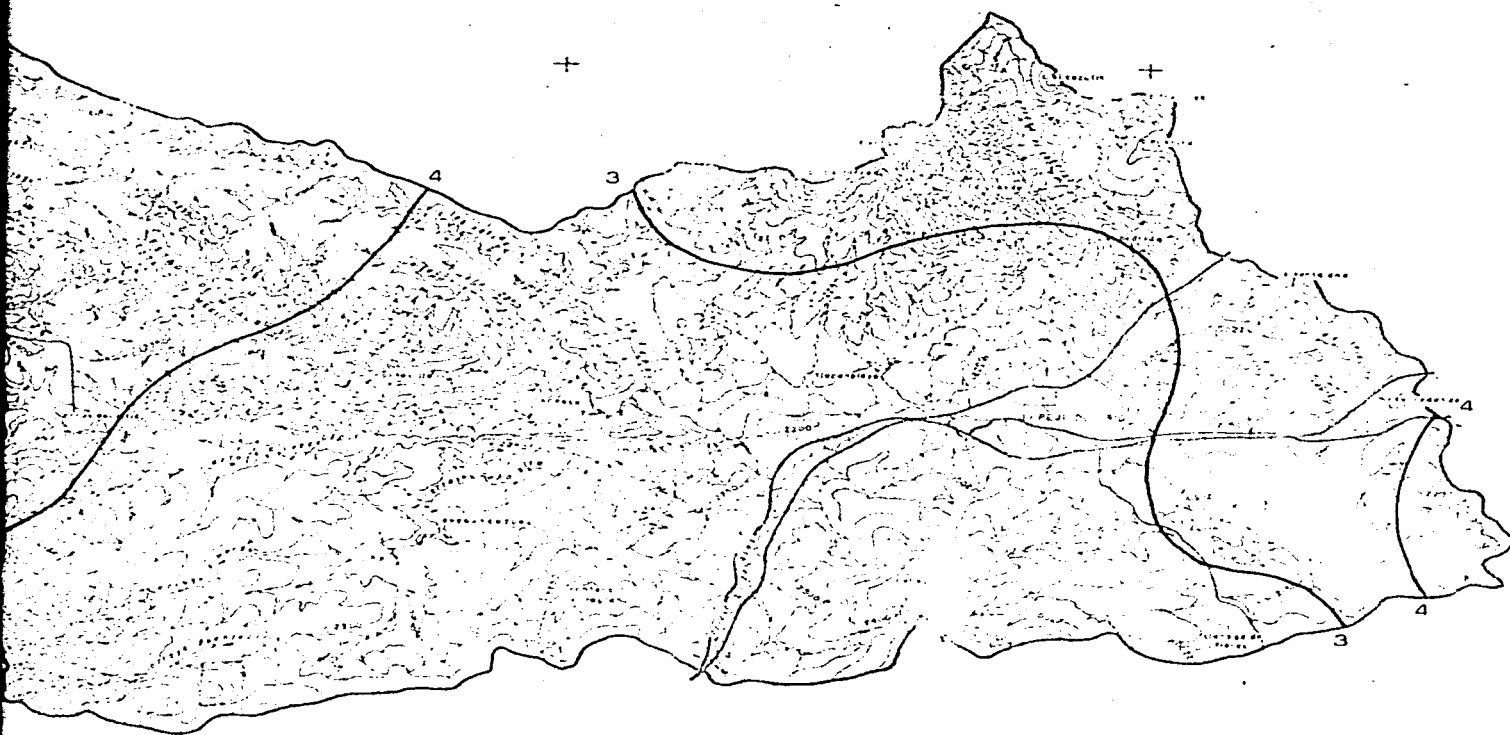


CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO.



ISOTERMAS MINIMAS ANUALES

mapa no. 6



donde son menos los días con heladas ( 2 400 msnm, 40 días), a causa de lo ya explicado antes ocasionando que las primeras heladas del otoño y las últimas de la primavera tengan lugar preferentemente en los valles.

### 3.0.0 El mesoclima.

A fin de obtener una evaluación dinámica de los fenómenos que caracterizan el área, y precisar las relaciones operacionales de las diferentes partes de la cuenca, se hizo necesario establecer el mesoclima por la interacción que se lleva a cabo entre los fenómenos meteorológicos y los elementos del medio natural. Así, se establecieron diferentes pisos térmicos por la variación de la temperatura con la altura, se definieron los tipos de circulación y dirección del viento al ser dirigidos por el relieve, se situaron los lugares típicos de asentamiento de masas de aire, de estratificación e inversiones térmicas y los procesos de heladas o nieblas aunadas a ellas, etc. Por último, se zonificaron los mesoclimas de acuerdo con tres factores básicos: temperatura, humedad y cantidad de precipitación anual, considerando el número de meses con lluvia de la época húmeda del año ( ver tablas 5 y 6 ).

De la integración funcional de estos elementos se obtuvo la siguiente zonificación.

#### ZONIFICACION MESOCLIMATICA ( ver mapa No. 7 ).

- I-A-6. Templada seca ( con 6 meses de lluvia ).
- II- A-6. Fresca seca ( con 6 meses de lluvia ).
- II- B-6. Fresca semiseca ( con 6 meses de lluvia ).
- II- C-6. Fresca subhúmeda ( con 6 meses de lluvia ).

Tabla 5. Características de las estaciones base para el mesoclima

1	2	3	4	5		6	7	8
Estación	Altitud en msnm.	Piso térmico	No. de meses húme- dos.	No. de días con heladas TOTAL	años MEDIA	Clima	Precipitación anual en mm.	Evapotranspira- ción en mm.
Presa El Tigre	2980	IV Frío	7	1218	10	121.5 C(w') (w) b (i') g	1332.8	673.33
Presa Requena	2100	I Templado	6	732	34	21.5 BS k w (w) i g	544.5	1064.34
Tepeji del Río	2150	II Fresco	6	368	12	30.6 C(w') (w) b (i') g	653.7	1067.20
Presa Taxhimay	2235	II Fresco	7	214	10	21.4 C(w') (w) b (i') g	833.7	1079.21

Tabla 6 Datos básicos de la zonificación mesoclimática.

1	2	3	4	5
Temperatura media anual en °C	Altitud en msnm.	Descripción del piso térmico	No de días con heladas	Relación P/ETP
16	- 2200	I Templado	0 - 50	P menor 1/3 de ETP Seco <u>A</u>
15	2200- 2350	II Fresco	10 - 40	P = ETP semiseco <u>B</u>
15 a 13	2350- 2700	III Semifrío	40 - 60	P mayor 1/3 de ETP subhúmedo <u>C</u>
13 a 9	+ 2700	IV Frío	100 - 140	P mayor 2/3 de ETP húmedo <u>D</u>

Continúa Tabla 6.

6 No. de meses de lluvia	7 Precipitación anual en mm.	8 Evapotranspiración potencial en mm.	9 Clave
6	554.5 y 653.7	más de 800	I-A-6. Templado Seco (6 meses de lluvia)
6	833.7	800	II-A-6. Fresco Seco (6 meses de lluvia) II-B-6. Fresco Semiseco (6 meses de lluvia) II-C-6. Fresco Subhúmedo (6 meses de lluvia)
6	800 a 1200	600 a 800	III-A-6. Semifrío Seco ( 6 meses de lluvia) III-B-6. Semifrío Semiseco (6 meses de lluvia) III-C-6. Semifrío Subhúmedo (6 meses de lluvia) III-C-7. Semifrío Subhúmedo (7 meses de lluvia)
7	1332.8	menos de 600	IV-D-7. Frío húmedo (7 meses de lluvia)

- III-A-6. Semifría seca ( con 6 meses de lluvia)
- III-B-6. Semifría semiseca ( con 6 meses de lluvia).
- III-C-6. Semifría subhúmeda ( con 6 meses de lluvia)
- III-C-7. Semifría subhúmeda ( con 7 meses de lluvia)
- IV-D-7. Fría húmeda ( con 7 meses de lluvia).

### 3.1.0 I-A-6 Zona templada seca.

Esta zona se encuentra localizada desde la parte baja del norte de la cuenca, hasta una altitud de 2 200 msnm, y corresponde propiamente al valle del río Tepéji; la temperatura media predominante es de 16°C a 17°C y las precipitaciones menores a 600 mm., la ETP es de 900 mm., o sea 1/3 mayor que la precipitación, por lo cual la zona es seca. Por ser una parte baja rodeada de montañas, hay invasión de masas de aire frío, provenientes de la montaña, que bajan encajonadas por los valles y se estacionan en la zona, lo que causa mayor número de días con heladas ( de 0 a 50 días anuales ) que en la parte media donde, por el relieve, no se estaciona el aire. También es en esta parte baja donde se forman nieblas estacionales, sobre todo en las mañanas y en la época fría del año. En su parte sur esta condición penetra profundamente por los valles, alcanzando en extensión casi hasta la parte media de la cuenca.

### 3.2.0 II- Zona fresca.

Esta se localiza rodeando a la primera, desde los 2 200 msnm hasta los 2 350 m; ahí las temperaturas medias descienden entre 16°C y 14°C, y las precipitaciones aumentan entre 600 y 800 mm, así como también descienden los valores de ETP, entre 700 y 900 mm; por tanto, se considera semiseca. El número de días con heladas son entre 10 y 40 al año. Esta zona presenta tres subtipos que se dife

rencian por humedad y son:

II-A-6, Fresco seco. Se localiza alrededor de la primera zona, su temperatura media es entre 15°C y 16°C, y la precipitación entre 600 y 700 mm., el valor de la ETP está entre 800 y 900 mm. Este subtipo tiene una fuerte influencia de las masas frías que se estacionan en la parte baja y, por tanto, el número de días con heladas es elevado, como promedio 40 anuales.

II-B-6, Fresco semiseco. Este abarca una pequeña zona de la parte sur de la zona fresca, en algunos valles intermontanos del centro de la cuenca en donde aumenta la precipitación entre 700 y 800 mm y la ETP disminuye también entre 700 y 800 mm; asimismo se producen heladas aunque en menor proporción que en el subtipo anterior, así como, ocasionalmente, algunas neblinas esporádicas en la estación invernal.

Por último, se encuentra el subtipo II-C6, fresco subhúmedo; éste forma entrantes dentro de la zona semifría, pero siempre por el fondo de los valles y sus temperaturas son más bajas que las de los subtipos anteriores, menos de 14°C por promedio. Su grado de humedad aumenta debido a que las precipitaciones son superiores a 800 mm y la ETP es baja, menor de 700 mm. Aquí las heladas varían entre 10 y 40 días anuales, siendo la influencia del viento nocturno la que puede producirlas, al descender al valle provocando descensos térmicos violentos. La influencia del viento diurno se realiza sobre la humedad, ya que, por ser aquél caliente, tiene mayor capacidad de saturación y, por tanto en esta área absorbe la humedad, misma que posteriormente descarga en la parte media alta de la cuenca.



### 3.3.0 III. Zona semifría.

Esta, que se localiza entre los 2 350 m y los 2 700 msnm, presenta cuatro subtipos diferenciados tanto por temperatura como por humedad.

3.3.1 El primero, es el III-A-6. Semifrío seco, tiene temperaturas de 15°C, sin embargo, las características de humedad son iguales a la primera zona, las precipitaciones son menores a la ETP y existen entre 10 y 40 días con heladas; la diferencia es por temperatura. Se encuentra entre los 2 350 m y los 2 550 msnm, sobre el cerro El Epazote, y parte del parteaguas hacia la Sierra de Tepetzotlán. También aquí influyen los vientos superficiales, que penetran a la cuenca por el este, al absorber la humedad de esta zona y depositarla en la parte media baja o en las estribaciones de la Sierra de Jilotepec.

El segundo es el III-B-6. Semifrío semiseco, el cual se localiza también entre los 2 350 m y los 2 550 msnm, en las faldas de la Sierra de Tepetzotlán, así como en las de las estribaciones de la Sierra de Jilotepec; aquí, por su situación geográfica y altitudinal, la humedad es mayor. La temperatura media está entre 15°C y 14°C, y la precipitación es mayor de 800 mm anuales, siendo la ETP de 700 mm, lo que hace que haya un grado de humedad más alto que en los otros subtipos anteriores; existiendo bosque de encinos en esta zona. El número de días con heladas están entre 40 y 60 anuales, y se presentan lluvias orográficas con granizo y tormentas eléctricas intensas.

El tercero es el III-C-6. Semifrío subhúmedo ( con 6 meses de lluvia). Se localiza en la parte media del talud de transi-

ción y en una pequeña zona de la parte alta de las estribaciones de la Sierra de Jilotepec; la temperatura media es de 14°C y las precipitaciones de 1 000 mm anuales, siendo la ETP entre 600 y 700 mm, por tanto, la precipitación es 1/3 mayor que la ETP, dando condición de subhumedad a la zona. Aquí también se presentan lluvias orográficas con granizo y tormentas eléctricas intensas.

Por último, se encuentra el III-C-7, Semifrío subhúmedo ( con 7 meses de lluvia ). Se localiza en la parte alta del caudal de transición y de la Sierra de Tepetzotlán. La temperatura va de 14°C a 13°C y las precipitaciones entre 1 000 y 1 200 mm anuales, siendo la ETP entre 600 y 700 mm. El número de días con heladas está cerca de 60 anuales; tiene 7 meses húmedos, con mayor intensidad de las lluvias orográficas, así como granizadas y tormentas eléctricas.

#### 3.4.0 IV. Zona Fría.

En la parte alta de la cuenca, a partir de los 2 700 msnm está la zona IV-D-7, fría húmeda, la cual tiene temperaturas que están entre 13°C y 9°C en la cima de la cuenca, lo que ocasiona que en la época fría del año en esta parte existan precipitaciones nevadas esporádicas. Esta zona tiene el mayor número de días con heladas, entre 100 y 140 al año y las precipitaciones están entre 1 200 mm a más de 1 400 mm; sin embargo, las lluvias orográficas más intensas se presentan entre los 2 700 m y los 3 300 msnm, presentándose frecuentemente granizadas y tormentas eléctricas, siendo el valor de la ETP menor de 600 mm anuales, por lo que la humedad relativa en esta zona siempre es alta.

Por último, es necesario comentar el hecho de que las tor

mentas eléctricas, junto con las granizadas, son frecuentes en toda la cuenca, siendo su intensidad más o menos uniforme a todo lo largo de ella.

#### 5.0.0.0 Morfometría

En el análisis de la red hidrográfica, la descripción y la cuantificación son indispensables para la mayor comprensión de la evolución de una cuenca.

Para el estudio cuantitativo de la naturaleza de la red hidrográfica se evaluaron las siguientes características físicas: el área o superficie, la pendiente media, la altitud media, el coeficiente de compacidad y el factor de forma; posteriormente se analizó la red de drenaje, obteniéndose la clase y orden de las corrientes (jerarquización), la longitud de la red hidrográfica, la densidad del avenamiento, la densidad longitudinal del drenaje, la pendiente de los afluentes principales, el coeficiente de masividad, el coeficiente orográfico y el coeficiente erosivo.

#### 1.0.0 Morfometría de la cuenca.

##### 1.1.0 Area de la cuenca.

La superficie de una cuenca es la extensión de terreno comprendido dentro de la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de captación del escurrimiento.

No existe una extensión definida para diferenciar las cuencas pequeñas de las grandes. Las cuencas pequeñas son más sensibles a las precipitaciones de gran intensidad que abarcan zonas pequeñas; en las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes; por tanto, una cuenca cesa de considerarse pequeña cuando los factores del escurrimiento dejan de tener importancia ante el efecto de almacenamiento de

agua en los canales del sistema fluvial.

Aunque en condiciones normales el área de la cuenca tiene importancia por constituir un criterio para establecer la magnitud del caudal, el crecimiento de éste con el área no es constante, ni tampoco igual en cualquier región, ya que depende, además, de la variación territorial de otros factores climáticos, geomorfológicos y bióticos.

El área de la cuenca se obtuvo planimetrando la carta base a escala 1:50 000, y el resultado fue de 405.702 Km<sup>2</sup>, valor que la sitúa como una cuenca de tamaño mediano.

#### 1.2.0 Pendiente media de la cuenca.

La pendiente del terreno es un factor importante que se relaciona con la infiltración, el escurrimiento superficial, la contribución del agua subterránea a la corriente y la duración del escurrimiento.

Así, por ejemplo, dos áreas de condiciones naturales similares pueden registrar diferencias evidentes en su hidrodinámica, en función de la inclinación media de sus superficies.

Así, a medida que aumenta la pendiente media de una cuenca aumenta la velocidad y cantidad de la escorrentía y escurrimiento superficial y, con ello, aumenta la capacidad de erosión, la concentración de sedimentos y la turbidez del agua e, inversamente, disminuye la infiltración.

La pendiente tiene también cierta influencia en la variación de las características físico-químicas y biológicas de las ver

tientes, ya que su acción se relaciona con la oxigenación, la mineralización, la lixiviación y el movimiento del suelo.

Para obtener la pendiente media se utilizó el método de Horton, por ser el que mejor se adapta a las condiciones de la cuenca y a los datos obtenidos; dicho método toma como base la pendiente del área comprendida entre dos curvas de nivel.

Se obtiene la pendiente media de la cuenca al promediar la pendiente de cada faja en relación con su área de influencia; analíticamente tendríamos:

$$P_1 = \frac{D}{a_1} = \frac{Dl_1}{s_1}$$

Al ponderar la pendiente de cada faja de acuerdo con su área se tiene:

$$P_1 = \frac{Dl_1}{s_1} \cdot \frac{s_1}{A} + \frac{Dl_2}{s_2} \cdot \frac{s_2}{A} + \dots + \frac{Dl_n}{s_n} \cdot \frac{s_n}{A}$$

$$P = \frac{D}{A} (l_1 + l_2 + \dots + l_n).$$

Por tanto:

$$P = \frac{D L}{A}$$

Donde:

s = área de la faja

a = anchura media de la faja

l = longitud de la curva de nivel intermedia

p = pendiente media de la faja

P = pendiente media de la cuenca  
D = intervalo entre las curvas de nivel  
L = longitud total de las curvas de nivel  
A = área de la cuenca

Según esta fórmula, la pendiente media de una cuenca es igual a la longitud total de las curvas de nivel multiplicado por el intervalo de dichas curvas, y el resultado es dividido entre la superficie total de la cuenca.

Aplicando la fórmula al estudio se tiene:

D = 50 m.

L = 1 668 Km.

A = 405.702 Km<sup>2</sup>.

$$P = \frac{D L}{A} = \frac{50 \times 1\,668}{405.702} = .205$$

En porcentaje es igual a 20.5 % que, en grados, equivale a 11° 35' de pendiente media, valor que es alto y significa alto poder en la energía cinética del río.

### 1.3.0 Altitud media de la cuenca.

Esta representa la altura media sobre el nivel del mar. En forma general su valor radica en ser indicador de la captación de la lluvia que por intercepción altitudinal puede obtenerse. De manera que puede esperarse que el rendimiento medio de una cuenca aumente, en relación con la elevación media de la misma, hasta el umbral correspondiente al plafón promedio de las nubes, arriba del cual empieza a disminuir.

Dichos rendimientos obedecen a la variación de las precipitaciones con la altura, considerando al escurrimiento como una función directa de la cantidad de precipitaciones. Esta variación, desde luego, no es la misma en cualquier región, sino cambia en cada zona de condiciones climáticas específicas.

También tiene importancia en cuanto a la variación territorial de otros elementos del régimen hidrológico. Generalmente esto es bastante evidente en relación con la temperatura del agua, la concentración de sedimentos y varias características físicas y biológicas del agua, tales como: la estratificación de los sedimentos, velocidad de los flujos, turbulencia, fricción sobre los cauces, eborción, cavitación etc., así como la cantidad de minerales y organismos que lleva en suspensión.

La temperatura del agua, directamente relacionada con las temperaturas del aire dentro del área de captación de una cuenca hidrológica, tendrá siempre determinada variación con la elevación media de la cuenca. También la elevación se utiliza para calcular el coeficiente orográfico que, a su vez, sirve para definir el relieve de una cuenca en función de la erosión que sufre.

Para obtener la altitud media de la cuenca existen varios métodos, sin embargo, igual que en el método para obtener la pendiente media, es el de Horton el que mejor se adapta a los datos que es posible obtener en las cartas utilizadas en el estudio.

La fórmula es:

$$H_m = \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot S + \frac{h_2 + h_3}{2} \cdot S \dots \frac{h_n + h_{n+1}}{2} \cdot S$$

Donde:

$h_1$  = altitud de la curva de nivel más baja, en m.



$h_2$  = altitud de la curva de nivel inmediata superior.

$S$  = Área entre las curvas  $h_1$  y  $h_2$

Así se obtiene la altitud media (parcial) entre esas dos curvas de nivel, se continúa con todas, y al finalizar las operaciones parciales se suman y el resultado se divide entre el área total de la cuenca.

Esto se hizo en la cuenca escogida y como resultado se obtuvo una altitud media de 2 438.8 m.s.n.m.

Tanto los valores de pendiente media como los de altura media fueron complementados con la elaboración de la carta de pendientes, y de todo ello se distinguieron los umbrales y zonas de energía cinética máxima con los cuales se establecerá la zonificación de los procesos morfogenéticos con su tipo, modalidad e intensidad.

#### 1.4.0 Coeficiente de compacidad.

La forma de la cuenca interviene principalmente en la manera como se comporta el volumen de agua escurrido. En general, en cuencas alargadas los volúmenes escurridos tardan más y son más uniformes, en tanto que en las cuencas pequeñas el volumen escurrido se concentra en un tiempo relativamente corto.

Existen índices numéricos que expresan la forma de las cuencas hidrográficas; así, la fórmula de Gravelius (índice de compacidad o circularidad), que relaciona el perímetro de la cuenca con el de la circunferencia de un círculo de igual área que la de aquélla; o sea que, compara el valor mínimo que se obtiene (que es

la unidad, 1), y cuanto mayor sea el índice más alargada será la cuenca, o menos parecida a un círculo.

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

Donde:

0.28 = constante

P = perímetro de la cuenca

A = área de la cuenca

Así, se tiene:

$$P = 128.2 \text{ Km}$$

$$A = \sqrt{405.702} = 20.14$$

$$K = 0.28 \frac{128.2}{20.14} = 0.28 \times 6.36$$

$$K = 1.78$$

En donde se puede ver que la forma de la cuenca no se acerca mucho a la forma circular, sino es más bien alargada.

#### 1.5.0 Factor de forma.

Es otra relación que da idea de la forma de la cuenca. Se obtiene dividiendo la anchura media entre la distancia más gran de medida sobre el curso principal, desde la salida de la cuenca hasta la cabecera más alejada. La anchura media se obtiene dividiendo el área de la cuenca entre la distancia máxima antes definida.

Este factor indica, en cierto modo, la posibilidad de la presencia de avenidas, ya que entre más bajo es su valor, la cuenca es más alargada y hay menor probabilidad de que se precipite una tormenta, simultáneamente, en toda su extensión.

Fórmula para obtener la anchura media.

$$A_m = \frac{A}{L} = \frac{405.702}{58.2} = 6.9707$$

Donde:

$A_m$  = anchura media

$A$  = área de la cuenca = 405.702 Km<sup>2</sup>

$L$  = distancia más grande medida sobre el río principal = 58.2 Km<sup>2</sup>

Fórmula para obtener el factor de forma:

$$F_f = \frac{A_m}{L} = \frac{6.9707}{58.2} = 0.11$$

Para esta cuenca se obtuvo un valor de 0.11, con una anchura media de 6.9707 y el eje axial de 58.2 Km (longitud de la corriente principal).

El factor de forma confirma el desarrollo alargado de la cuenca, y esto reafirma la idea de que en la misma no existan grandes posibilidades de que se efectúe una avenida de consecuencias peligrosas porque, por su forma alargada, no capta toda el agua que se genera en una tormenta, ya que gran parte de ésta se distribuye en las cuencas vecinas.

#### 1.6.0 Coeficiente de masividad.

El coeficiente de masividad de un relieve es el cociente

de la división de la altura media del relieve entre la superficie proyectada (área de la cuenca).

Así, se tiene:

$$C_m = \frac{H}{A} = \frac{37.88 \text{ Dm}}{405.702 \text{ Km}} = 0.093$$

Donde:

H = altura media en m \* = 3 788 m = 37.88 Dm

A = área total de la cuenca en Km<sup>2</sup> = 405.702 Km<sup>2</sup>

C<sub>m</sub> = coeficiente de masividad

La variación de este coeficiente ofrece gran interés; aumenta cuando la altura media del relieve de la cuenca aumenta y la superficie disminuye. Tiene valores más grandes en cuencas más pequeñas que presentan fuertes desniveles. Serán, por lo contrario, muy suaves en cuencas muy extendidas que tengan un relieve poco acentuado. Puede ser utilizado para medir el relieve.

Los puntos importantes que resultan, finalmente, son:

1. La altura media de las cuencas fluviales puede caracterizar la elevación de su relieve.

2. El coeficiente de masividad está, dentro de cierta medida, en relación con la pendiente de los cauces fluviales.

3. Este coeficiente diferencia netamente las cuencas que tiene la misma altura media.

4. A la inversa, la altura media diferencia netamente las cuencas que tienen el mismo coeficiente de masividad.

Estas consideraciones conducen, pues, a combinar en con-

junto estas dos bases, para obtener un coeficiente orográfico.

#### 1.7.0 Coeficiente orográfico.

Sirve para caracterizar el relieve de cuencas fluviales.

Se combinan las dos variables esenciales del relieve: su altura, que influye sobre la energía potencial del agua, y su pendiente, que actúa sobre el escurrimiento cuyo efecto completa el producido por las precipitaciones.

Se establece un resultado límite de 6, a partir del cual el relieve puede considerarse como acentuado.

El coeficiente orográfico así obtenido es:

$$Co = H \cdot Cm = 37.88 \text{ Dm} \times 0.093 = 3.52$$

Donde:

Co = coeficiente orográfico

H = Altura media en m\* = 3 788 m.

Cm = coeficiente de masividad = 0.093

En este caso el resultado fue de 3.52, que se puede considerar intermedio en cuanto al valor límite; por tanto, el relieve también es medio.

\* Tanto en el cálculo del coeficiente de masividad como en el del coeficiente orográfico, la unidad que se emplea para la altura media es el metro; pero resultaban valores muy grandes por tratarse de una cuenca relativamente pequeña, y hubiera sido necesario cambiar el valor límite a 600, por lo que, para mayor facilidad, la unidad empleada para la altura media, en ambos casos fue el decámetro (28).

(28) Maderay R., L.E. 1973 "Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico. Cuenca del Río Pabellón, afluente del río Aguascalientes". Rev. Recursos Hidráulicos, Vol. II, No. 2, S.R.H. México.

Se puede considerar que este relieve indica su mayor energía a medida que su valor se acerca al límite establecido.

También el aplanamiento del terreno, debido a la erosión, va haciendo disminuir la energía del relieve.

#### 1.8.0 Coeficiente erosivo.

Este índice completa el conocimiento de una corriente y su comportamiento, máxime en regiones como la que motiva este estudio en la que casi todas las corrientes presentan frecuentes rápidos y pequeñas caídas de agua con sus característicos fenómenos de evorsión y cavitación. Todo ello aumenta el índice erosivo de la corriente y denota el porcentaje en que están destruyéndose los cauces.

Puede calcularse de la siguiente manera:

Dividiendo la diferencia de altitudes máxima y mínima ( en Km) entre la longitud de la corriente (en Km), el resultado es un porcentaje, pero si no se desea manejar este coeficiente con decimales, basta multiplicarlo por 100.

Lo mejor es dividir la corriente en tres tramos: la zona de montaña, la zona del talud y la zona de la planicie, y calcular el coeficiente para cada uno de ellos.

La fórmula es la siguiente:

$$C_e = \frac{\text{altitud máxima} - \text{altitud mínima en Km}}{\text{Longitud del río ( o del tramo )}}$$

Para el río Los Sabios se obtuvo:

Zona de montaña  $C_e = 0.0857$

Zona de talud  $C_e = 0.0175$

Zona de planicie  $C_e = 0.0047$

Para el río El Oro:

Zona de montaña  $C_e = 0.0861$

Zona de talud  $C_e = 0.0198$

Zona de planicie  $C_e = 0.0041$

Para el río Los Arcos:

Zona de montaña  $C_e = 0.0387$

Zona de talud  $C_e = 0.0146$

Zona de planicie  $C_e = 0.0038$

Este coeficiente indica el poder erosivo del río o de sus tramos; entre mayor es el coeficiente mayor será el poder erosivo del río, lo que se va a reflejar en el arranque hidráulico del mismo, así como en la abración, en general, del río. También puede dar idea de la tendencia de la corriente, o de sus tramos, a la torrencialidad de su flujo.

## 5.2.00 Morfometría fluvial

### 2.1.0 Red de Drenaje.

Una característica importante de cualquier cuenca, que interviene extraordinariamente en la magnitud de los escurrimientos, es la red de drenaje, la cual consiste en el número y trayectoria de los escurrimientos, y su importancia radica en la efica-

cia del drenaje de la cuenca. Incluye los aspectos que se refieren a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la misma y, además, es un indicador de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las características de una red de drenaje se describen de acuerdo con:

#### 2.1.1 Clase de corrientes.

Todas las corrientes se catalogaron en tres clases: efímeras, intermitentes y perennes, de acuerdo con su tipo de escurrimiento que involucra las características físicas y condiciones climáticas de la cuenca.

Se consideró que una corriente es efímera cuando se produce sólo en el momento de la lluvia e inmediatamente después de ésta.

Es intermitente cuando se presenta durante la mayor parte del año y sólo cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce, en la época seca, de febrero a abril.

Por último, corriente perenne es aquella que tiene lugar todo el año, alimentada por manantiales, veneros y aguas subálveas, en la época de estiaje.

De acuerdo con esta clasificación, se encuentran: como corrientes perennes solamente los ríos Los Sabios, El Oro y Los Arcos y, lógicamente, el río Tepeji; como corrientes intermitentes, los arroyos que se localizan en la cabecera de la cuenca, hasta la parte superior del talud de transición, así como algunos que na-



cen en la sierra de Tepetzotlán y en las estribaciones de la sierra de Jilotepec; y efímeras las que se hallan sobre el talud de transición, en las faldas de la sierra de Tepetzotlán, las estribaciones de la sierra de Jilotepec y la zona baja de la cuenca.

### 2.1.2 Orden de las corrientes.

La jerarquización de las corrientes da a conocer cual es el río o cauce principal y, por otra parte, se pueden analizar las características del terreno sobre el que se ha desarrollado el drenaje.

La red de drenaje se compone de una corriente o cauce principal y una serie de afluentes; aunque también puede darse el caso, como en este estudio, de que existan dos o más corrientes principales ( en este estudio son tres). Para ordenar las corrientes se hace una clasificación que considera como de primer orden aquellas que no tienen tributarios; de segundo orden las que tienen tributarios de primer orden; de tercer orden aquellas que tienen tributarios de segundo orden, etc.

Por tanto, el orden de la corriente principal indicará la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca. La clasificación deberá efectuarse considerando tanto corrientes perennes, como intermitentes y efímeras.

Aplicando esta jerarquización en la cuenca, ésta resultó con un sistema fluvial de 6° orden.

### 2.1.3 Longitud de tributarios.

La topografía de una cuenca define la longitud de los tri

butarios, ya que éstos son también indicadores de la pendiente. Comúnmente las áreas escarpadas y con buen drenaje tienen numerosas corrientes pequeñas y efímeras; por el contrario, las áreas planas con suelos profundos y permeables tienen corrientes largas, generalmente perennes.

En este caso, la longitud total de los tributarios resultó ser de 737.9 Km, valor que representa el 85.77 % de la longitud total de cauces, de manera que esto nos indica una fuerte correspondencia con la pendiente, que se traduce por un drenaje excesivo y torrencial que funciona plenamente, en forma efímera, durante la época de lluvias.

#### 2.1.4 Densidad del avenamiento.

Esta característica es un indicador de la eficiencia en drenaje de una cuenca. Está generalmente relacionada con la cantidad de precipitaciones y la pendiente del terreno. Por esta razón los mayores valores de la densidad de drenaje indican mayor abundancia de escurrimiento y, con ello, indirectamente, valores importantes de erosión hídrica. Tal es el caso en la zona en estudio.

Los valores obtenidos fueron:

En relación con la cantidad de corrientes que existen en la cuenca, respecto al área total:

$$Dc = \frac{Nc}{A} = \frac{1157}{405.7} = 2.85 \text{ corrientes por Km}^2$$

Donde:

Dc = densidad de corrientes

$N_c$  = número de corrientes = 1 157  
 $A$  = área de la cuenca en  $\text{Km}^2$  = 405.7

Respecto a la longitud de las corrientes por unidad de área:

$$D_d = \frac{L_c}{A} = \frac{860.5}{405.7} = 2.121 \text{ Km de longitud por } \text{Km}^2$$

Donde:

$D_d$  = densidad de drenaje

$L_c$  = longitud total de las corrientes en Km

$A$  = área de la cuenca en  $\text{Km}^2$

#### 2.1.5 Relación de bifurcación.

Es la relación entre el número de corrientes de un orden respecto al número de orden inmediato superior; por lo general, el rango de variación de la misma está entre 3 y 5. Sin embargo, hay, teóricamente, un valor mínimo posible de 2 que es raramente accesible en condiciones naturales. Una relación de bifurcación alta e irregular puede esperarse en regiones en donde la forma de la cuenca es alargada, que es lo que va a influir en que la relación de bifurcación sea alta o baja, llegando a ser de 5, que es el límite superior normal, hasta 17 en cuencas exageradamente alargadas.

En este estudio el valor de la relación de bifurcación para la cuenca resultó ser de 6.8, lo que significa que, por promedio hay 6.8 veces más corrientes de un orden que del inmediato superior. Esto se refleja en la rapidez con que se junte el escurrimiento durante una tormenta y después de ella.

### 2.1.6 Pendiente del cauce.

La influencia de la pendiente media de la corriente se nota principalmente en la duración de la subida o en la duración total de las avenidas. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente.

Por esta razón no se suele determinar por separado la relación entre la pendiente media total de un río y las duraciones de sus avenidas; se considera la variación de estas últimas en función de factores más complejos en los cuales entran tanto la pendiente como la longitud.

La pendiente del cauce es la relación existente entre la diferencia de elevaciones de los extremos de la corriente; es decir, el desnivel existente entre esos dos puntos y la longitud horizontal de dicho tramo.

Así, se tiene: 
$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Donde:

S = pendiente del tramo del cauce.

$\Delta H$  = desnivel entre los extremos del cauce en Km

L = longitud horizontal del tramo del cauce en Km

Así, en el río Los Sabios existe una pendiente media de  $1^\circ 28'$ ; en el río El Oro de  $2^\circ 13'$  y en el río Los Arcos de  $1^\circ 06'$ .

### 2.2.0 Conclusión.

Del análisis conjunto de los datos morfométricos obtenidos, se desprende:

La cuenca, por su extensión, se encuentra en el rango de las que se consideran medianas; su desnivel es de 1 565 m, en 58.2 Km. de longitud, lo que le da una pendiente media de  $11^{\circ} 35'$  que influye en forma moderada en la energía cinética del escurrimiento.

Por la forma alargada que presenta la cuenca, que coincide con los índices de compacidad y de factor de forma, la captación de las precipitaciones es deficiente, ya que gran parte del agua caída en el área estrecha de la cuenca de captación escurre hacia las cuencas vecinas.

En relación con el relieve, la altitud media de la cuenca da una idea de cómo aquél va a influir en los elementos meteorológicos de acuerdo con la variación de la altitud y el plafón promedio de las nubes en la región; influye en la mayor o menor temperatura en relación con la menor o mayor altitud, respectivamente, y también en la precipitación habida dentro de la cuenca, que es mayor en la parte alta, por la presencia de lluvias de tipo orográfico-convectivas, influidas por el relieve.

Respecto al estudio de la red hidrográfica se encuentran, por un lado, el análisis de los perfiles longitudinales de los ríos principales y, por otro, la morfometría de la red hidrográfica.

Los perfiles longitudinales muestran la importancia que tiene la pendiente en el aumento de la velocidad del escurrimiento, ya que las pendientes pronunciadas, con rupturas numerosas de la parte alta favorecen la velocidad del escurrimiento.

Por la forma alargada de la cuenca ésta no presenta posibilidades de que exista en ella una avenida de peligro; pero, al

estudiar en la red hidrológica la disposición de los principales afluentes del río Tepejil, cuya forma es más o menos paralela, así como sus perfiles longitudinales, se observa que sí puede existir una avenida que puede tener consecuencias peligrosas para la parte baja en donde las ondas de crecida van a ser casi simultáneas, sobre todo en los momentos en que se presentan los aguaceros normales en la parte alta. Por esto es necesario no sólo estudiar la morfometría de la cuenca sino, también, estudiar la red de drenaje, lo que nos dará mayores detalles sobre las características de la cuenca y su posible comportamiento en un momento dado.

La densidad longitudinal del drenaje, por sí solo, no va a servir de mucho, por lo que se hace necesario considerar también la frecuencia de los tributarios, así como su clase y orden, lo que permite tener una idea del grado de torrencialidad de la cuenca, lo que está en función de la densidad de las corrientes, de la pendiente del tramo y del valor de su relación de bifurcación, puesto que la rapidez de la concentración del escurrimiento depende de la densidad del drenaje y de la frecuencia de los talwegs elementales.

#### 6.0.0.0 El sistema hidrodinámico.

El agua de las precipitaciones, una vez que llega al suelo, se distribuye de tres modos diferentes de acuerdo con las condiciones imperantes en el momento y sitio en que ocurre la precipitación.

Uno tiene lugar sobre la parte superior del suelo y forma la escorrentía y el escurrimiento del agua por acción de la gravedad.

Otro se forma cuando el agua se infiltra según dos modalidades:

a) La infiltración freática, que es la fracción de agua que se insume a profundidad y alimenta los mantos freáticos.

b) La infiltración subsuperficial o hipodérmica, que satura las capas superficiales del suelo y subsuelo; ésta es más importante para la morfogénesis porque causa alteraciones y movimientos del suelo.

Por último, la fracción restante del agua precipitada constituye la evapotranspiración, o sea la evaporación física del suelo y la transpiración fisiológica de las plantas.

#### 1.0.0 Balance Hídrico.

##### 1.1.0 Escorrentía y escurrimiento.

Por lo que toca al escurrimiento, se observa que éste está dirigido por las condiciones climáticas, ya que sus máximos se presentan durante los meses de julio, agosto y septiembre que corresponden al periodo estacional de precipitaciones del verano-oto

ño.

Durante el resto del año el escurrimiento decrece en forma notable y su alimentación se basa en el volumen surgente de manantiales o, bien, en precipitaciones aisladas propiciadas por perturbaciones de la atmósfera superior, que pueden provocar una precipitación más o menos importante según su carácter e intensidad.

Por cuanto a la escorrentía, ésta es el principal elemento morfogenético de las vertientes por la importancia de las formas que origina y porque a partir de ella se forma el escurrimiento.

La escorrentía es una forma de flujo hídrico superficial que no escurre en forma concentrada, sino su movimiento sobre el terreno es de carácter desordenado, en forma de una lámina de agua. (23).

Dicho fenómeno posee varias etapas evolutivas y secuencias que, dependiendo de la intensidad de la lluvia, pueden presentarse en un mismo aguacero o, paulatinamente, en varios periodos de lluvias. Dichas etapas van desde la escorrentía areolar o pelicular, que es la más débil, a la siguiente escorrentía discontinua o embrionaria y la escorrentía difusa, hasta llegar a la escorrentía concentrada, que es la etapa final antes del escurrimiento, lo cual se logra si la precipitación se intensifica o dura mucho tiempo, si la pendiente de la vertiente aumenta, si el suelo se hace menos permeable, o si se modifica la cobertura vegetal; cada uno de esos factores solos o combinados son capaces de acrecentar el gasto de

(23) Cervantes B, J. 1974. " Modificación del método de Storie por el método geomorfológico ". Bol. del Instituto de Geografía. Vol. V U.N.A.M. México. sobretiro.



la escorrentía, lo que hace que los hilos de agua, a partir de cierto lugar, sean suficientemente abundantes y capaces de incidir en el modelado de un pequeño lecho que anuncia, por otra parte, el abarrancamiento. Esta horadación marca una cicatriz en el terreno y podrá ser utilizada por las precipitaciones siguientes hasta llegar a formar, posteriormente, un verdadero lecho fluvial. Este límite de concentración de las aguas, como consecuencia de la incisión sobre el terreno, en geomorfología se llama aparición de un talweg elemental, y es el que marca el principio de una red hidrológica.<sup>(23)</sup> Debido a la falta de datos hidrométricos de los ríos principales, se tuvo que hacer uso de datos de estaciones hidrométricas de influencia indirecta. Dichas estaciones son: " Calabozo", que se encuentra localizada a la salida de la presa Taxhimay; " Tepeji ", dentro de Tepeji del Río, y " Km 0 + 330 " y " Schmelz " a la salida de la presa Requena. Ahora bien, considerando que a la estación hidrométrica " Tepeji " llegan los aportes de agua tanto de la cuenca alta del río Tepeji, medidos en la estación hidrométrica " Calabozo ", como los aportes de agua de los ríos Los Sabios, El Oro y Los Arcos, y del arroyo Peña Alta, pertenecientes a la cuenca en estudio, se eliminaron los valores de la estación hidrométrica " Calabozo ", quedando como resultado el valor del escurrimiento de la cuenca baja del río Tepeji.

En la tabla No. 7 se dan los valores del escurrimiento de las estaciones hidrométricas utilizadas.

De acuerdo con estos datos, a la suma de los valores de las estaciones hidrométricas " Tepeji ", " Km 0 + 330 " y " Schmelz " se le restaron los valores de la estación hidrométrica " Ca-

(23) Cervantes B.J. 1974. op-cit.

TABLA No. 7

Gasto medio en m<sup>3</sup>/seg. y volumen mensual en miles d

Estación hidrométrica " Calabozo "

	E	F	M	A	M	J	J	A	S
1.	0.961	1.325	3.198	5.190	2.434	2.205	1.527	1.660	4.789
2.	2522.5	3019.0	8565.8	13451.8	6518.3	5714.7	4091.0	4443.9	12363.1

Estación hidrométrica " Tepeji "

1.	1.085	1.010	2.644	5.343	3.096	4.017	5.577	5.573	10.121
2.	2923.2	3037.9	7570.3	14144.0	8047.5	10607.9	14964.4	14057.4	26482.0

Estación hidrométrica " Km 0 + 330 "

1.	2.255	3.197	5.449	5.765	2.964	2.077	1.752	2.479	1.535
2.	6127.7	7817.3	14594.8	14943.5	7863.8	5381.9	4693.4	6639.5	3979.1

Estación hidrométrica " Schmelz "

1.	0.827	0.944	1.115	1.155	0.966	0.932	0.986	1.155	1.044
2.	2215.9	2307.5	3012.9	2995.3	2587.1	2416.4	2642.1	3093.8	2705.6

1. Gasto medio en m<sup>3</sup>/seg.

2. Volumen mensual en miles de m<sup>3</sup>

TABLA No. 7

Gasto medio en  $m^3$ /seg. y volumen mensual en miles de  $m^3$

Estación hidrométrica " Calabozo "

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1.	0.961	1.325	3.198	5.190	2.434	2.205	1.527	1.660	4.789	3.294	1.060	1.641	2.344
2.	2522.5	3019.0	8565.8	13451.8	6518.3	5714.7	4091.0	4443.9	12363.1	8768.9	2695.4	1665.1	73752.9

Estación hidrométrica " Tepeji "

1.	1.085	1.010	2.644	5.343	3.096	4.017	5.577	5.573	10.121	5.947	1.760	1.007	3.921
2.	2923.2	3037.9	7570.3	14144.0	8047.5	10607.9	14964.4	14057.4	26482.0	16044.8	4576.1	2710.0	126343.2

Estación hidrométrica " Km 0 + 330 "

1.	2.255	3.197	5.449	5.765	2.964	2.077	1.752	2.479	1.535	0.836	0.799	2.022	2.593
2.	6127.7	7817.3	14594.8	14943.5	7863.8	5381.9	4693.4	6639.5	3979.1	2234.6	2070.8	5414.8	81774.4

Estación hidrométrica " Schmelz "

1.	0.827	0.944	1.115	1.155	0.966	0.932	0.986	1.155	1.044	0.946	0.872	0.887	0.987
2.	2215.9	2307.5	3012.9	2995.3	2587.1	2416.4	2642.1	3093.8	2705.6	2532.8	2261.2	2375.2	31145.7

1. Gasto medio en  $m^3$ /seg.

2. Volumen mensual en miles de  $m^3$

labozo " a fin de obtener el valor real del escurrimiento en toda la cuenca, incluyendo la subcuenca de la presa Requena.

Posteriormente el escurrimiento medio de la cuenca se distribuyó entre las subcuencas con respecto al área de cada una de ellas. El resultado se encuentra en la tabla No. 8, en donde están los valores del escurrimiento medio por subcuencas.

Tabla No. 8. Distribución del escurrimiento medio por subcuencas.

Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>	Vol. Q. en miles m <sup>3</sup>	Q medio en mm.
1. Río Los Sabios	69.155	8 922.009	21.94
2. Río El Oro	91.481	11 802.388	29.10
3. Río Los Arcos	79.730	10 286.337	25.36
4. Arr. Peña Alta	46.755	6 032.080	14.88
5. Presa Requena	118.581	15 298.685	37.73
<hr/>			
Totales	405.702	52 341.499	129.01

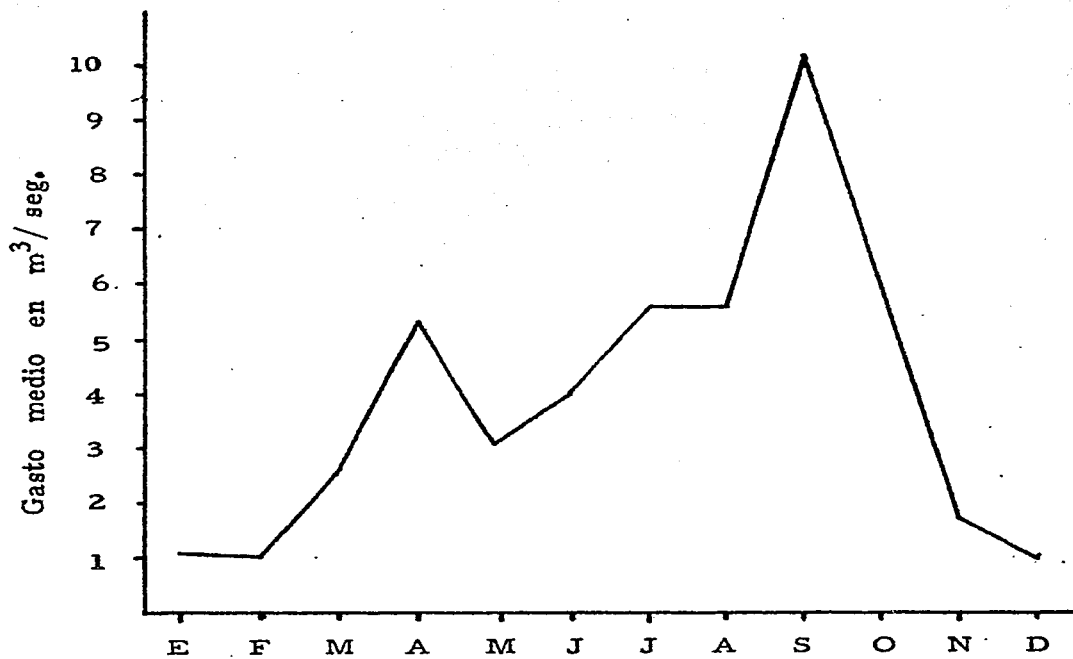
Sin embargo esta distribución no corresponde a la realidad ya que está dada por el área de cada subcuenca, como se especificó anteriormente, lo que encierra un gran error porque, por ejemplo, a la subcuenca de la presa Requena, por ser la de mayor área, le corresponde la mayor cantidad de escurrimiento, lo que no se puede considerar como verdadero dado que la zonificación mesoclimática indica que las mayores precipitaciones se efectúan en la parte media y alta de la cuenca y es ahí donde, lógicamente, se van a formar los mayores escurrimientos y no en el área cercana a la presa Requena que recibe la menor cantidad de lluvia en toda la cuenca y, por tanto, sus valores de escurrimiento serán mínimos.

En la gráfica número 9 se muestran los gastos medios mensuales de la estación hidrométrica " Tepeji " (que es la más representativa ya que es la que marca los escurrimientos de los ríos hasta la altura de Tepeji del Río); en ella se puede observar que el escurrimiento mínimo no llega a  $1 \text{ m}^3$  por segundo, en tanto que el escurrimiento máximo sobrepasa los  $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ . También se observa que los valores máximos del escurrimiento no corresponden a los máximos de lluvia, sino que se desfazan aproximadamente dos meses; así, el gasto máximo del río se produce durante los inicios del otoño, en los meses de septiembre y octubre. Este fenómeno de atraso del escurrimiento con respecto a las lluvias se debe a que los meses lluviosos se presentan en el verano (julio y agosto); cuando las primeras lluvias empiezan a caer el terreno seco y permeable las absorbe fácilmente, lo que va en detrimento del escurrimiento. Sin embargo, a medida que las lluvias van aumentando, el coeficiente de infiltración se va reduciendo hasta que, en el mes de septiembre, las lluvias atrasadas y más intensas por la influencia de perturbaciones ciclónicas, se van a sumar a los volúmenes surgentes que empiezan a reintegrar parte del agua infiltrada, todo lo cual incrementa el escurrimiento máximo de los ríos que, en los meses posteriores, se reducen bruscamente hasta alcanzar su mínimo en la época seca del año.

#### 1.2.0 Infiltración.

Por la falta de datos de infiltración, y considerando que de la lluvia total una parte escurre y la demás se pierde por evapotranspiración y por infiltración; al contar con los valores estimados del escurrimiento y de la evapotranspiración potencial se dedujo el valor medio de la infiltración por la diferencia de los va-

Estación Hidrométrica "Tepeji"



GRAFICA No. 9,

lores del escurrimiento y de la evapotranspiración potencial, respecto del volumen total precipitado. El valor medio obtenido fue de 113.92 mm de infiltración. Para conocer más o menos su distribución se puede ver la tabla No. 9 en la que se muestran sus valores por subcuencas.

Tabla No. 9. Distribución de la infiltración media por subcuencas.

Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>	Vol. I miles m <sup>3</sup>	I media en mm.
1. Río Los Sabios	69.155	7 876.984	19.42
2. Río El Oro	91.481	10 419.988	25.68
3. Río Los Arcos	79.730	9 081.510	22.40
4. Ay Peña Alta	46.755	5 325.550	13.12
5. Presa Requena	118.581	13 506.768	33.30
<b>Totales</b>	<b>405.702</b>	<b>46 210.800</b>	<b>113.92</b>

Sin embargo, con estos valores ocurre lo mismo que en el caso del escurrimiento, o sea que, a mayor área mayor valor de infiltración, independientemente de que llueva más o menos o que el tipo de material sea o no permeable.

Respecto del material existente se puede ver que en la zona de las andesitas, en la cabecera de la cuenca y en la sierra de Tepetzotlán las rocas están muy fracturadas lo que permite la infiltración del agua, que tiene lugar en dos formas diferentes; una por infiltración profunda realizada a través de las juntas y fracturas del material andesítico en la que la mayor parte del agua infiltrada no se vuelve a recuperar; la segunda por infiltración subsuper-

ficial o hipodérmica realizada en los mantos superficiales donde el agua infiltrada corre a poca profundidad de la superficie, aflorando posteriormente en manantiales que aportan agua a los ríos, sobre todo en la época seca del año.

En la zona de los depósitos volcánicos heterogéneos la infiltración es menor, igual que en las zonas de tobas, debido a la cantidad de vidrio volcánico que actúa como sello hidrológico para la infiltración del agua. En la parte de los basaltos la infiltración se comporta de manera similar a la de la cabecera, también causada por el alto grado de fractura de la roca; sin embargo, se estima que ahí la infiltración es menor porque las precipitaciones no son tan abundantes e intensas como en la cabecera.

### 1.3.0 Evaporación.

Para el estudio de una cuenca desde el punto de vista hidrológico no basta considerar exclusivamente la temperatura y la precipitación, ya que existen fenómenos meteorológicos, también importantes, que hay que tomar en cuenta, como son: la evaporación, la transpiración y, en conjunto, la evapotranspiración, todos los cuales son útiles para calcular el volumen de agua caída, la cantidad que escurre en superficie, la que se infiltra y la que se pierde por evaporación y transpiración.

Los fenómenos de evaporación y transpiración, que en conjunto se denominan evapotranspiración, desempeñan un papel fundamental en el ciclo hidrológico ya que tienen un papel significativo dentro del balance hídrico.

La evaporación es el fenómeno físico por medio del cual



el agua pasa del estado líquido o sólido al gaseoso; la transpiración es un fenómeno biológico que tiene lugar en las plantas por sus funciones<sup>(24)</sup>, en virtud de las cuales toman agua del suelo y la expulsan por sus partes aéreas.

La acción de la evaporación es muy importante ya que se lleva a cabo a partir de todos los estados físicos y de todos los tipos de agua, como son:

Agua de lluvia, nieve o hielo, superficies de agua libre y agua del suelo. Así como, también, el agua transpirada por la vegetación.

En este caso se dió más importancia a la evaporación efectuada en las superficies de agua libre, así como a la contenida como agua y humedad del suelo, entre la que se cuenta la transpirada por las plantas.

La evaporación en superficies de agua libre depende principalmente de su extensión y profundidad. Por ejemplo, cuando una superficie es pequeña y poco profunda (como los depósitos de evaporación) la temperatura del agua sigue rápidamente las variaciones térmicas del aire, de ahí se deduce que la tasa de evaporación sea muy sensible a las variaciones de las condiciones atmosféricas<sup>(25)</sup>. El tirante y volumen del agua juega, por consiguiente, un papel regulador de las temperaturas y, por tanto, de la evaporación.

(24) Domínguez García-Tejero F. 1971. " El riego, su implantación y su técnica" Edit. Dossat S. A. Madrid, España 77 p.

(25) Castany, G. 1971 " Tratado práctico de las aguas subterráneas" Edic. Omega S.A. Barcelona, España.

La evaporación en el suelo es muy importante ya que afecta a grandes extensiones; no obstante, su acción se limita a una profundidad relativamente pequeña, aproximadamente 1 m en zonas templadas y 2 m en zonas áridas.

La evaporación disminuye la humedad superficial del suelo, lo cual produce un movimiento ascendente del agua por capilaridad. Si el agua libre de las capas superficiales no es remplazada por las aguas subterráneas o por la de lluvia, la evaporación disminuye y cesa.

Así, el valor de la evaporación depende de la cantidad de agua contenida en las capas superficiales, la cual obedece a la porosidad, granulosis y otras cualidades del suelo. Así como del contenido de humedad del suelo en diferentes épocas.

#### 1.3.1 Cálculo de la evaporación.

Para obtener la evaporación media de la cuenca se usaron los datos de las estaciones anotadas, los cuales, procesados, dieron los resultados que se muestran en la tabla No. 10.

El método que se sigue es: se trazan en un mapa líneas de igual evaporación (isoatmómetras); se mide el área comprendida entre cada dos isoatmómetras y se multiplica por la evaporación media de los dos, obteniéndose el volumen de evaporación en  $m^3$ . Después, para obtener la evaporación media se suman todos los volúmenes obtenidos y se dividen entre el área total de la cuenca.

Tabla No. 10 Cálculo de la evaporación media por el método de " isoatmómetras".

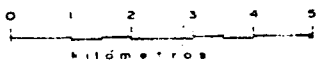
Isoatmómetras en mm.	2. Area entre cada dos isoatmómetras en Km <sup>2</sup>	3. Evaporación media en mm.	4. Volumen de evaporación en m <sup>3</sup>	5 <u>Σ 4</u> <u>Σ 2</u>
-1600	31.0	1575	48 825 000	
1600 -1650	264.175	1625	429 284 375	
1650 -1700	98.100	1675	164 317 500	
+ 1700	12.425	1725	21 433 125	
Totales	405.700	6600	663 860 000	1636.33 mm.

Sin embargo, estos datos tienen la desventaja de sobreestimar los valores debido a que los recipientes utilizados están fuertemente influidos por la orientación; y el agua evaporada es arrastrada por el viento, de manera que aire nuevo, no saturado, queda continuamente sobre el tanque, todo lo cual contribuye a dar mayores valores de evaporación que los reales. Es decir, los datos obtenidos tienden a exagerar la evaporación; así, la precipitación anual es de 1 021.7 mm, en tanto que la evaporación es de 1 636.32 mm.

Según los datos obtenidos, en toda la cuenca se presenta una evaporación muy fuerte, siendo mayor en la parte norte debido a la presencia de la presa Requena, cuyo vaso alcanza una extensión de 6.787 Km<sup>2</sup> y su profundidad se considera poca ( 20 m más o menos ), lo cual no impide que la evaporación llegue a ser de 1 700 mm aproximadamente.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de la evapo-

escala 1:50000



1 600  
investigado  
maggaleru meza Sánchez

1976



Curvas de nivel Eq 50m



Carreteras



Limite Estatal



Depósitos de Agua  
hidrografía



Río perenne



Río estacional



Río estinero

CUENCA BA

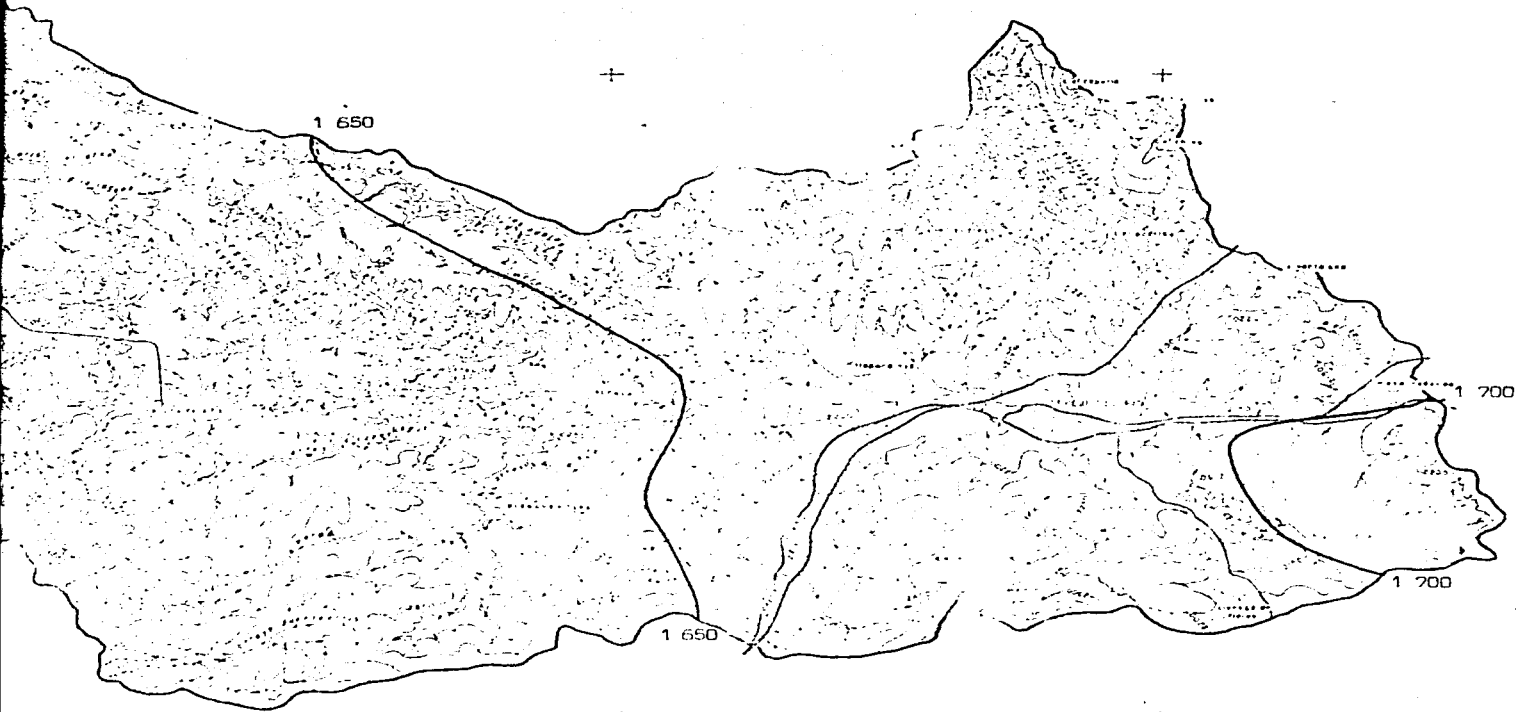
ISO

1 600

1 650

CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO.

ISOATMOMETRAS en mm. mapa no. 8



ración por subcuencas.

Tabla No. 11. Distribución de la evaporación por subcuencas.

Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>	Vol. de evaporación en m <sup>3</sup>	Evaporación media	%
1. Río Los Sabios	69.155	113 160 557	278.921	17.0
2. Río El Oro	91.481	149 691 675	368.964	22.5
3. Río Los Arcos	79.730	130 464 771	321.573	19.7
4. Ay. Peña Alta	46.755	76 506 715	188.576	11.5
5. Presa Requena	118.581	194 036 280	478.266	29.2
Totales	405.702	663 859 998	1636.300	99.9

#### 1.4.0 Evapotranspiración potencial.

Para poder tratar el tema de la evapotranspiración es necesario hacer una breve descripción de lo que es la transpiración y su influencia en la evaporación.

La transpiración, como se dijo anteriormente, es un fenómeno fisiológico de los seres vivos. Este fenómeno es importante para la vegetación, tomando en cuenta el volumen de agua que circula por las plantas, que es necesaria para su crecimiento y, por otro lado, la profundidad que alcanzan las raíces, así como el desarrollo del propio sistema radicular que, en muchos casos, sobrepasa longitudes totales de 100 m, incluso 1 000 m o más<sup>(25)</sup>.

Los factores físicos que afectan a la transpiración son los mismos que afectan a la evaporación, como: el poder evaporante de la at

(25) Castany, G. 1971 op.cit.

TABLA No. 12  
Evaporación y Evapotranspiración Potencial

Estación	Periodo considerado	E	F	M	A	M	J	J	A
PRESA EL TIGRE	E - 10 ETP	103.4 21.72	140.3 21.21	189.5 25.99	195.7 55.16	191.8 93.71	151.9 112.89	141.7 117.14	124.8 108.2
PRESA REQUENA	E - 34 ETP	123.1 22.66	138.7 40.90	177.7 71.12	183.6 92.59	178.3 131.72	155.5 135.06	140.8 138.60	143.9 130.6
TEPEJI DEL RIO	E - 11 ETP	111.8 26.17	140.5 39.32	178.9 69.45	183.5 93.68	189.3 132.09	161.7 135.44	137.0 139.39	138.4 131.0
PRESA TAXHIMAY	E - 10 ETP	115.4 26.51	145.6 40.83	189.5 72.38	202.6 99.11	190.4 134.29	150.5 136.95	127.3 139.39	126.5 131.3

TABLA No. 12

y Evapotranspiración Potencial

	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
7	191.8	151.9	141.7	124.8	110.3	112.5	106.7	100.2	1668.8
6	93.71	112.89	117.14	108.28	55.90	22.23	19.56	19.54	673.33
6	178.3	155.5	140.8	143.9	119.8	124.9	116.5	113.1	1715.3
9	131.72	135.06	138.60	130.65	108.85	91.29	60.91	39.99	1064.34
5	189.3	161.7	137.0	138.4	123.2	126.8	101.3	96.2	1688.6
8	132.09	135.44	139.39	131.02	106.96	91.28	63.54	38.86	1067.20
6	190.4	150.5	127.3	126.5	108.4	108.4	109.9	102.8	1677.3
1	134.29	136.95	139.39	131.39	105.45	91.56	61.48	39.87	1079.21



mósfera, los agentes meteorológicos y la humedad del suelo.

Así como la evaporación influye sobre el suelo hasta uno o dos metros de profundidad, según la zona climática, las plantas, por sus raíces, llegan a mayores profundidades, absorbiendo el agua de esas zonas; en esta forma la transpiración hace que aumente la pérdida de agua de las capas más profundas del subsuelo.

En la transpiración también influyen: la especie vegetal de que se trate, la edad, el desarrollo del follaje y la profundidad de las raíces. También las variaciones diurnas tienen relación con las fluctuaciones de la temperatura, de la humedad y de la intensidad de la luz; la transpiración es casi nula durante la noche, debido a que se cierran los estomas de las plantas. Las variaciones estacionales están determinadas por el ritmo vital de la planta y las fluctuaciones del poder evaporante de la atmósfera.

Dado que tanto la evaporación como la transpiración producen el mismo resultado, como la pérdida de humedad por el suelo, se les estudia conjuntamente con el nombre de evapotranspiración. De hecho existen dos tipos de evapotranspiración: la real, que es la correspondiente a un momento determinado y que no interesa en este caso, ya que al disminuir el caudal de agua disminuye también el agua evapotranspirada y, por tanto, no es posible su medición fácil. Y la evapotranspiración potencial, introducida por Thornthwhite, que es la que se produciría si el suelo tuviera la cantidad de agua necesaria para tener una producción óptima<sup>(24)</sup>.

La evapotranspiración potencial (ETP) se mide por la al-

(24) Domínguez García-Tejero, F. 1971. op-cit.

tura que ocuparía la capa de agua evapotranspirada en cierto periodo, expresada en milímetros o en pulgadas.

Básicamente son tres los factores que intervienen en la evapotranspiración: el clima, el suelo y la planta; en relación con el clima, influye principalmente la temperatura, pero también la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas de iluminación, la radiación solar, etc.

El suelo influye de acuerdo con su naturaleza y su comportamiento con respecto al agua, en cuanto a su permeabilidad y mayor o menor capacidad de retención de ella.

Por lo que respecta a la planta, influye tanto su especie como el número de estomas por unidad foliar, y el periodo vegetativo en el que se encuentre.

De estos tres factores es el clima el de mayor influencia, ya que el efecto de la planta y del suelo no son tan importantes, por compensarse parcialmente ambos factores: cuando la vegetación es rala, la transpiración es poca, pero el suelo, al no estar cubierto totalmente, presenta mayor superficie para la evaporación; por el contrario, cuando la vegetación es exuberante y cubre la superficie del suelo, éste tiene poca evaporación, pero la vegetación realiza gran transpiración; con todo, esta compensación es parcial, porque aunque la naturaleza del suelo y la planta no sean tan decisivos como el clima, no por ello dejan de ser importantes.

#### 1.4.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial.

Los métodos utilizados para la determinación del volumen

de agua, se basan en el cálculo de la evapotranspiración potencial, la cual puede ser determinada por métodos experimentales en la zona en estudio, o por métodos analíticos que se basan en fórmulas más o menos empíricas establecidas por diversos experimentadores.

El primer sistema exige costosas instalaciones y muchos años de experimentación, por lo que no suele aplicarse muy frecuentemente. El segundo método es el más fácilmente aplicable, aunque sea preciso establecer datos no conocidos experimentalmente o basarse en promedios.

Las causas que afectan a la evapotranspiración son tan diversas y complejas que es muy difícil tomarlas en cuenta en una fórmula matemática, por lo que algunos autores utilizan tan solo la temperatura, otros toman en cuenta otros factores físicos y biológicos.

La mayor dificultad que se presenta en la aplicación de las fórmulas es la falta de datos experimentales que se precisan para desarrollarlas.

Desde principios de este siglo se ha venido realizando gran cantidad de trabajos sobre las relaciones suelo-planta-agua y la determinación de la evapotranspiración. Se ha hecho muy poco para relacionar la evapotranspiración real con las condiciones climatológicas y la humedad del suelo, de manera que los conocimientos obtenidos en un área pudieran ser trasladados de una zona climática a otra. Blaney y Criddle (1945) establecieron y publicaron una fórmula para estimar el uso consuntivo de los cultivos. Desde entonces ha sido utilizada en todo el mundo, para estimar la evapo

transpiración y las necesidades de agua<sup>(26)</sup>.

En este estudio se utilizó el método de Blaney y Criddle porque se consideró que, de acuerdo con los datos que utiliza para su obtención, es el que mejor se adapta a los datos que se tienen de la cuenca estudiada; así como ciertos valores reales que se obtuvieron y que en este caso se utilizan como empíricos, ya que el método no fue aplicado en esta área que, sin embargo, presenta características muy semejantes a las regiones en donde fue aplicado. Estos investigadores hicieron gran cantidad de experimentos de 1931 a 1942, así establecieron, en 1945, la siguiente fórmula empírica, con la que se puede obtener la evapotranspiración potencial.

$$(ETP) = K \cdot F \quad \dots (1)$$

En la que:

(ETP) = Evapotranspiración potencial expresada en pulgadas.

F = " Fuerza evaporante, igual al producto de la temperatura media en °F, que designaremos por "t", y del tanto por ciento "p" de horas diurnas durante el periodo considerado, con relación al total de horas diurnas al cabo del año ".

K = Es un coeficiente determinado experimentalmente, en el que se engloban todas las demás circunstancias como: naturaleza de la planta, estado de la vegetación, suelos, clima, etc.

De este modo, la fórmula primitiva se transforma en:

$$(ETP) = K \frac{p \cdot t}{100}$$

(26) Christiansen, J. E. 1966. " Estimating Pan Evaporation and Evapotranspiration from Climatic Data". Publ. en Proceedings of the Symposium on Evapotranspiration. Nov. 2-4 1966 pp. 193-234. Traducc. Ing. M. Topolanski de Montevideo, Uruguay. S.R.H. Mex. Marzo 1968.

Esta fórmula está expresada en pulgadas y en °F, y podemos transformarla en otra expresada en mm y en °C, teniendo en cuenta que la pulgada inglesa equivale a 25.4 mm y que el 0 y 100 de la escala centigrada corresponde, respectivamente, al 32 y 212 de la escala Farenhait.

Así, si se designa por ETP, sin paréntesis, a la evapotranspiración potencia en mm, se tendrá:

$$(ETP) = \frac{ETP}{25.4} \text{ y, } t(^{\circ}F) = t(^{\circ}C) \times \frac{180}{100} + 32$$

Por tanto:

$$ETP = 0.254 \cdot K \cdot p \cdot (1.8 t^{\circ}C + 32) \quad (2)$$

Los valores de "p" fueron calculados por Blaney y Criddle, para los distintos meses del año, a distintas latitudes del hemisferio norte, la clasificación la hacen de dos en dos grados; debido a esto y a que la cuenca se encuentra en el paralelo 19° latitud Norte, se sacó un promedio entre los valores del paralelo 18° y 20° latitud Norte que se dan en la tabla No. 13.

Tabla No. 13. Porcentaje mensual de horas de luz "p", para los paralelos 18° y 20° latitud Norte y el promedio entre ambos.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
18° =	7.88	7.26	8.40	8.46	9.06	8.99	9.20	8.81	8.29	8.24	7.67	7.80
20° =	7.73	7.26	8.20	8.52	9.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.99
Prom =	7.80	7.26	8.30	8.49	9.10	9.00	9.22	8.88	8.29	8.21	7.62	7.89

Los valores de K fueron calculados para diferentes tipos de vegetación, ya que éstos requieren diferentes cantidades de agua pa-

ra su desarrollo. Estos valores van creciendo progresivamente en los diferentes meses de la temporada de lluvias, hasta un límite máximo en que empiezan a disminuir en los meses siguientes.

Los valores de K para este estudio fueron tomados de la tabla de valores mensuales de K para diversas zonas cultivadas (según Blaney y Criddle), utilizándose los datos de praderas y frutales que son los que mejor se adaptan a las condiciones de vegetación del presente estudio.

Tabla No. 14. Valores mensuales de K para diversas zonas cultivadas (según Blaney y Criddle).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Praderas	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35
Frutales	0.23	0.23	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	0.20	0.20

Con los datos anteriores y los de temperatura de la tabla No. 1, se aplicó la fórmula a las diferentes estaciones utilizadas, obteniéndose de ello los valores necesarios para trazar el mapa de isolíneas de evapotranspiración potencial (ver tabla No. 12).

Al igual que con el mapa de isoyetas y el de isoatmómetras, en el de evapotranspiración potencial también se midieron las áreas comprendidas entre cada dos isolíneas de evapotranspiración y se multiplicaron por la evapotranspiración media de las dos, obteniéndose el volumen en  $m^3$ . Posteriormente se sumaron todos los volúmenes obtenidos y se dividieron entre el área total de la cuenca a fin de determinar la evapotranspiración potencial media por el método de isolíneas de evapotranspiración potencial.

Tabla No. 15. Cálculo de la evapotranspiración potencial media por el método de " isolíneas de ETP ".

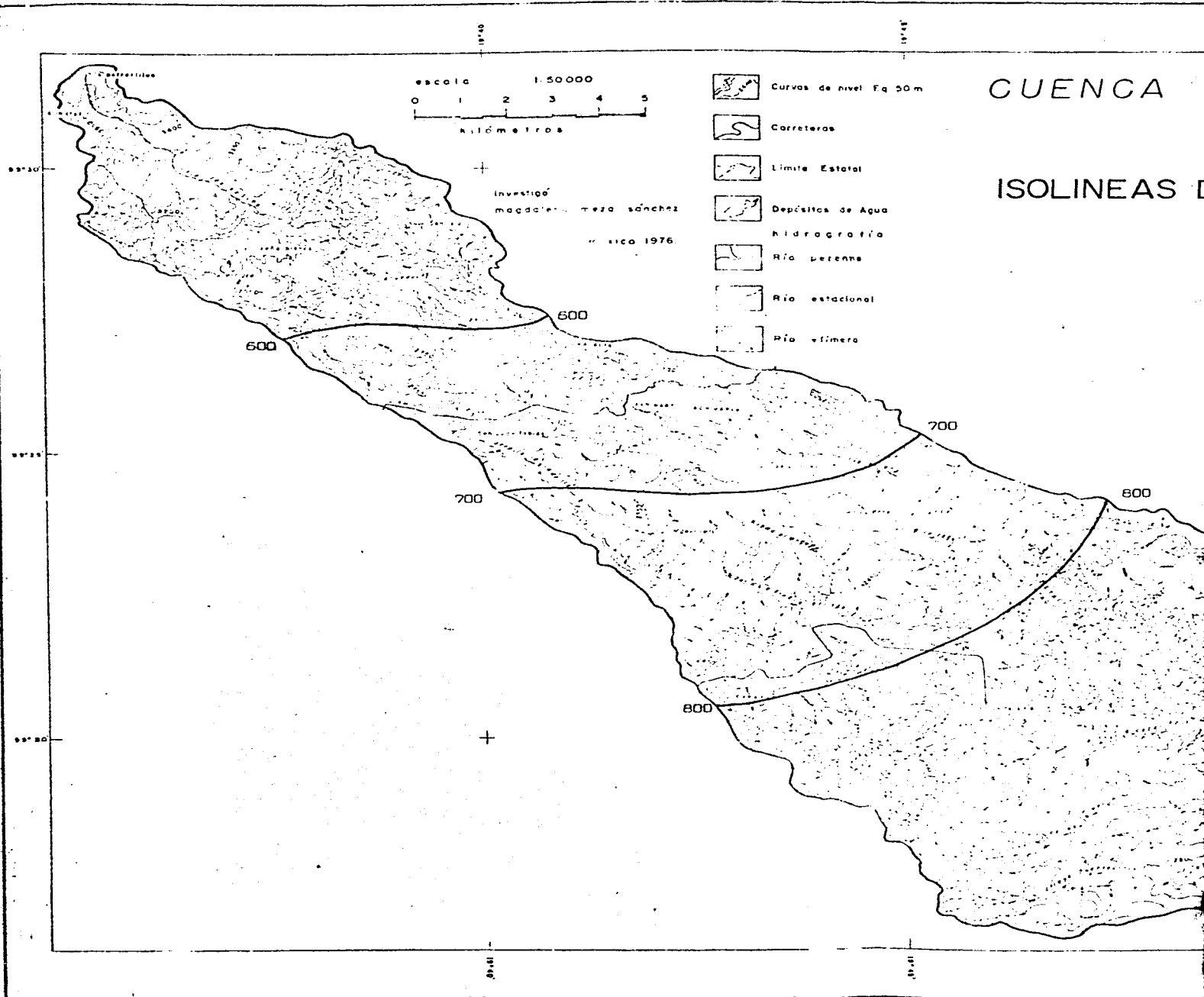
1. Isolíneas de ETP mm.	2. Area entre cada dos isolíneas Km <sup>2</sup>	3. ETP media en mm	4. Vol. de ETP en m <sup>3</sup> (2X3)	5. $\frac{\sum 4}{\sum 2}$
-600	47.825	550	26 303 750	
600-700	45.825	650	29 786 250	
700-800	53.825	750	40 368 750	
+ 800	258.227	850	219 492 950	
Totales	405.702	2800	315 951 700	778.77 mm.

El resultado de ETP media para la cuenca, de 778.77 mm, es lógico, puesto que representa fraccionalmente 3/4 partes del valor de la precipitación media, valor acorde con el del volumen de escurrimiento e infiltración que representan la 4a. parte restante.

En la tabla No. 16 se dan los valores de ETP por subcuencas. Tabla No. 16. Distribución de la evapotranspiración potencial por subcuencas.

Subcuenca	Area en Km <sup>2</sup>	Vol. de ETP en m <sup>3</sup>	ETP media en mm
Río Los Sabios	69.155	53 856 331	132.75
Río El Oro	91.481	71 243 409	175.60
Río Los Arcos	79.730	62 091 946	153.05
Ay. Peña Alta	46.755	36 411 623	89.75
Presa Requena	118.581	92 348 391	227.62
	405.702	315 951 700	778.77

En este caso, como en el de evaporación, aun cuando los da-

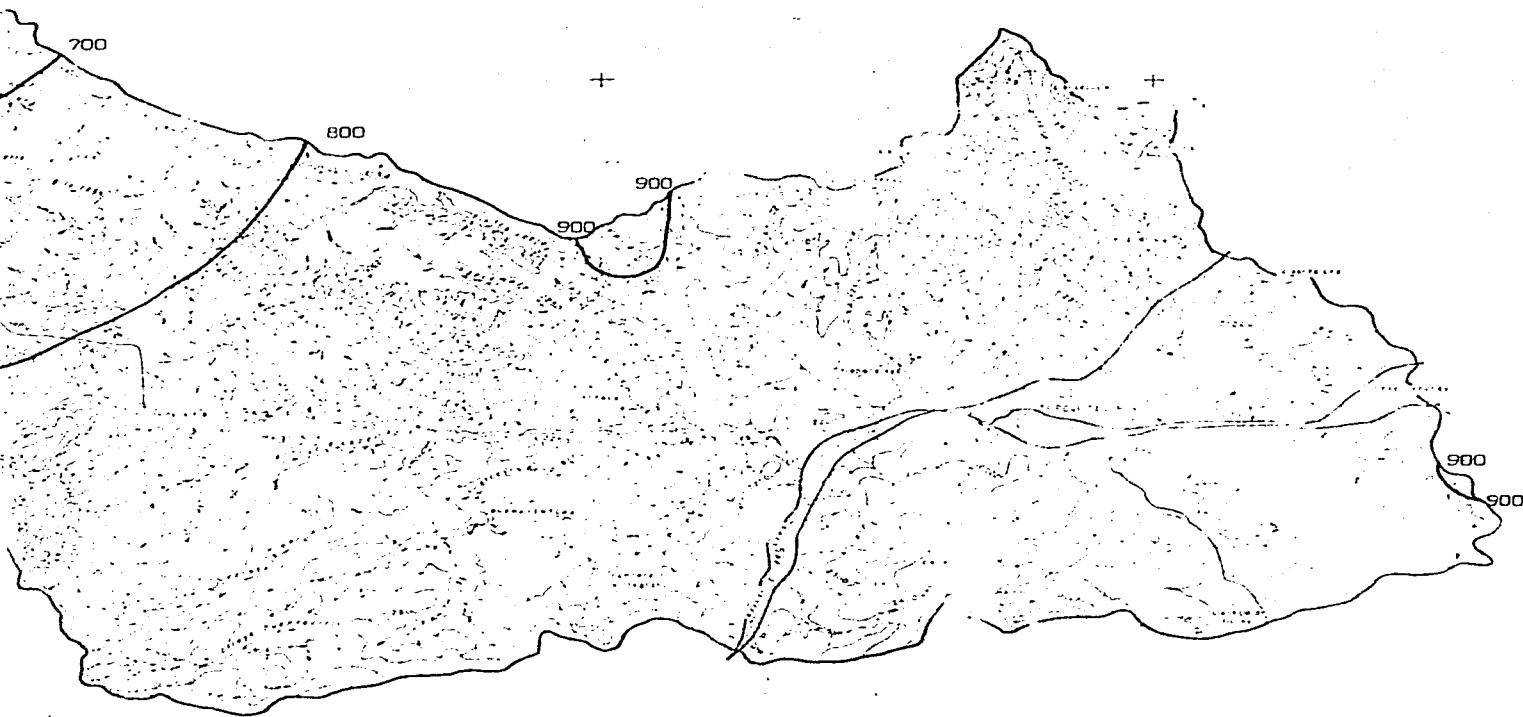




CUENCA BAJA DEL RIO TEPEJI, HGO.

ISOLINEAS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

mapa no. 9



tos fueron distribuidos de acuerdo con el área de las subcuencas, los valores resultantes son más acertados ya que, efectivamente, en la zona de la presa Requena la evaporación y la evapotranspiración potencial son mayores que en las partes media y alta de la cuenca.

Sin embargo, localmente existen discordancias entre la ETP y la precipitación; por ejemplo, en la parte baja, al norte de la cuenca, aproximadamente a partir de los 2 300 msnm, la ETP es de 800 mm y aumenta hasta llegar a la salida donde alcanza un valor de 900 mm, en tanto que la precipitación tiene valores de 800 mm a 2 300 msnm, y de 600 mm en la salida de la cuenca; así, en el área comprendida, la ETP es mayor que la precipitación, lo que es posible en la zona extrema norte donde las temperaturas medias son de 16°C o más y los vientos fuertes y continuos que provocan una mayor ETP por el cambio continuo de masas de aire secas.

En cambio, en las áreas de temperatura menores que comprenden la sierra de Tepotzotlán y las estribaciones de la sierra de Jilotepec, que por promedio tienen temperaturas menores a 15°C que en las partes altas alcanzan 13°C o menos, y con precipitaciones de 800 mm o más, la ETP es menor que el valor de 800 mm marcado en el mapa; puesto que la menor temperatura y la mayor humedad relativa del aire propician un amortiguamiento de las pérdidas de agua.

De los 2 300 msnm hacia la cabecera, los valores de ETP disminuye y, además, están más en concordancia con los de precipitación y temperatura; ésta última decrece con la altura, lo que ocasiona también que la capacidad de saturación del aire sea menor, por lo que se satura más rápido y provoca menor ETP; si a esto se agrega que la precipitación aumenta con la altura ( de 800 mm y

1 000 mm en la parte baja, a 1 300 mm y 1 400 mm en la parte superior y media), tendremos un aumento en la humedad relativa, y, consecuentemente, conforme se asciende, menores variaciones de la ETP. Además de que los vientos son menos constantes y el aire más estable, por lo que hay menor intercambio de humedad entre una zona y otra.

De los 2 300 msnm a los 2 550 msnm aproximadamente, los valores de ETP van de 800 mm a 700 mm, las temperaturas son entre 15°C y 16°C, y la precipitación aumenta de 800 mm a 1 000 mm. Sin embargo, la vegetación de esta área es rala y de tipo pastizal. Debido a la gran deforestación causada por el hombre, los sitios donde el suelo está descubierto se calientan más rápidamente y tienen mayor ETP que los que se encuentran más elevados, o en las laderas occidentales de las barrancas, donde la exposición al sol es menor y hay mayor cantidad de vegetación que protege al suelo.

Arriba de los 2 550 msnm la ETP desciende a 600 mm, las temperaturas son entre 15°C y 13°C, y siendo esta área la que recibe la mayor cantidad de lluvias (entre 1 000 mm y 1 400 mm), aun cuando la vegetación en la parte inferior sigue siendo de tipo pastizal, ya existe mayor protección de la vegetación, pues hay en la parte media y superior bosques de encino y pino que protegen mejor al suelo de la insolación y también dan lugar a que en ellos exista mayor humedad relativa. Además, por existir aquí temperaturas más bajas, la transpiración también es menor. Esto mismo sucede en la cabecera, donde las precipitaciones son de más o menos 1 300 mm y las temperaturas descienden aún más, llegando a ser de 9°C a 3 550 msnm; aquí la vegetación es de bosques de coníferas y la humedad relativa es alta (su promedio es mayor del 60 %).

### 1.5.0 Conclusión.

Vista en conjunto la forma como se distribuye el agua, desde su entrada hasta su salida, nos conduce a integrar el balance hídrico deducido a partir de los valores del escurrimiento, la infiltración y la evapotranspiración potencial, cuya suma total debe, en teoría, corresponder al valor de entrada de la precipitación.

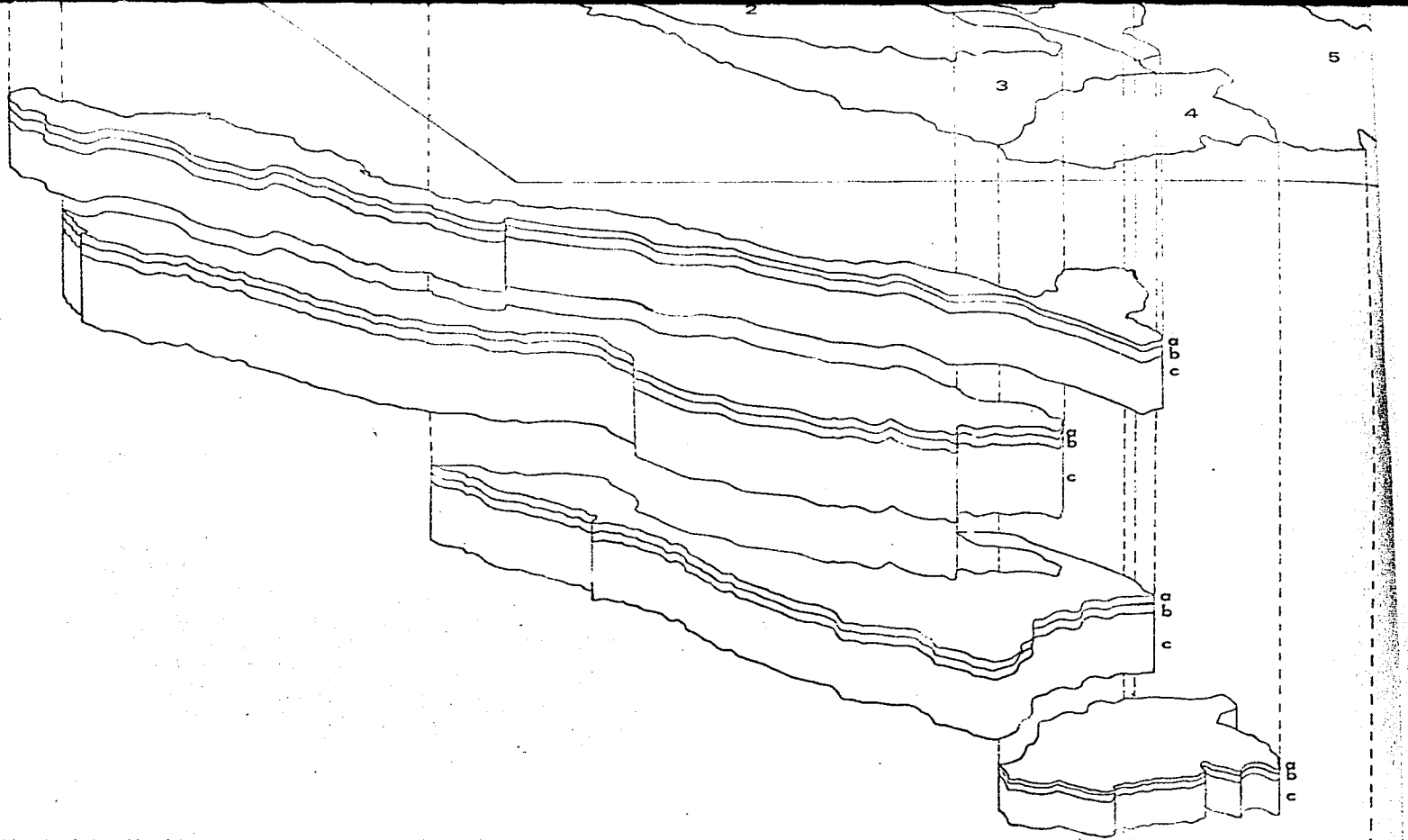
Así, de la cantidad total precipitada, su distribución se realiza con los valores siguientes:

a) infiltración . . . . .	113.92 mm.
+ b) escurrimiento . . . . .	129.01 mm.
+ c) evapotranspiración potencial . . . . .	<u>778.77 mm.</u>

suma . . . . . 1 021.70 mm que corresponde al valor de la precipitación media que existe en la cuenca\*.

En la gráfica No. 11 se presentan los diferentes elementos, en vista tridimensional, a fin de facilitar su análisis objetivo. Aunque cada elemento se trata a continuación, su dinámica dentro de cada cuenca será considerada en la sección de dinámica fluvial.

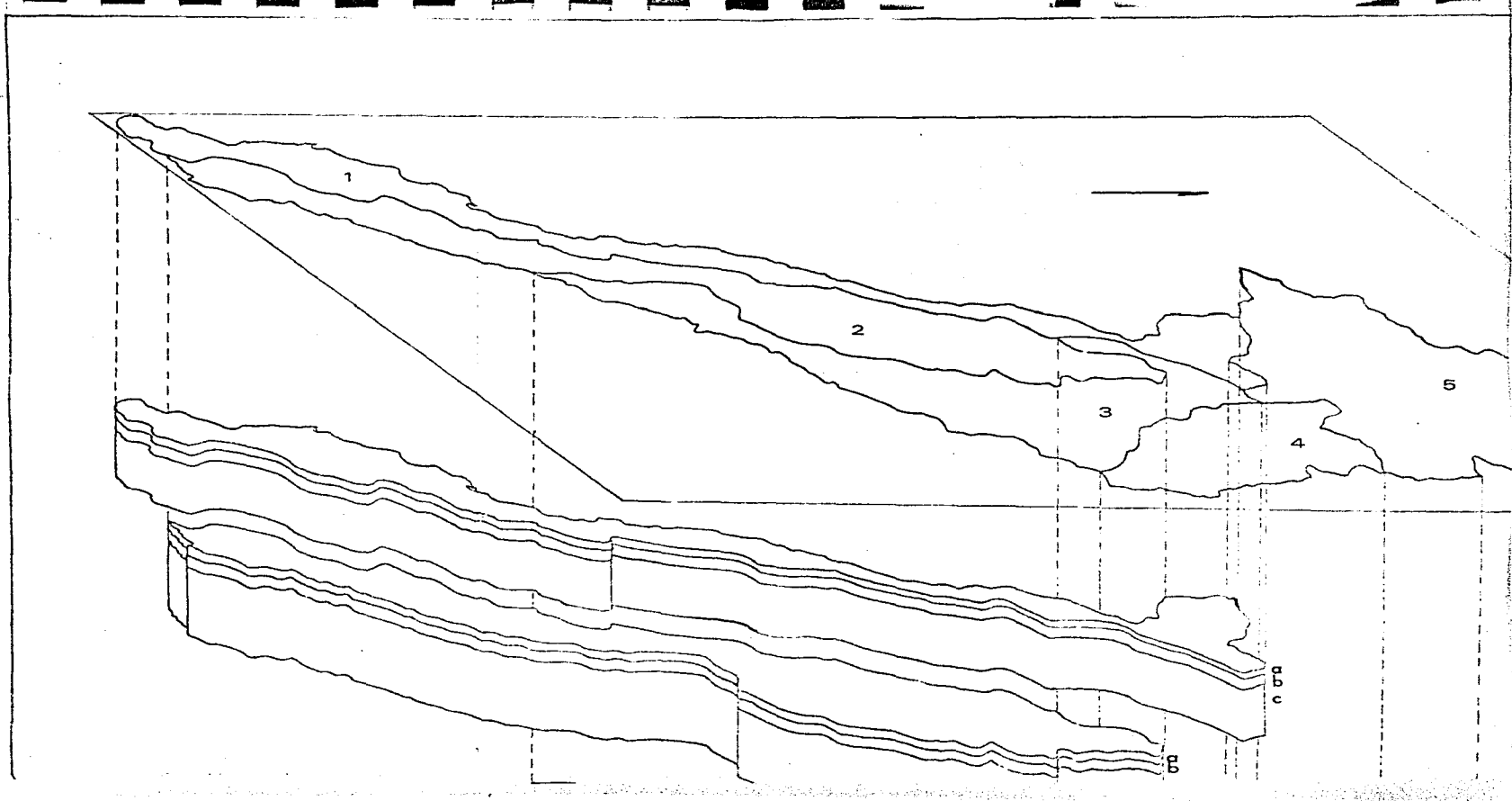
\* El valor de la evaporación obtenido a partir de los datos de las estaciones meteorológicas no se toma en cuenta en el balance hídrico, porque da mayor cantidad de mm evaporados que de lluvia caída; Cervantes ( ), en la cuenca del río Alfajayucan, Hgo, distante unos 50 Km al noreste de la zona en estudio, reporta que los valores de evaporación superan en 2/3 el valor de la precipitación total anual. De acuerdo con dicha consideración, pudiera esperarse que un valor de 681 mm de evaporación (2/3 del de la precipitación) sea más cercano a la realidad.

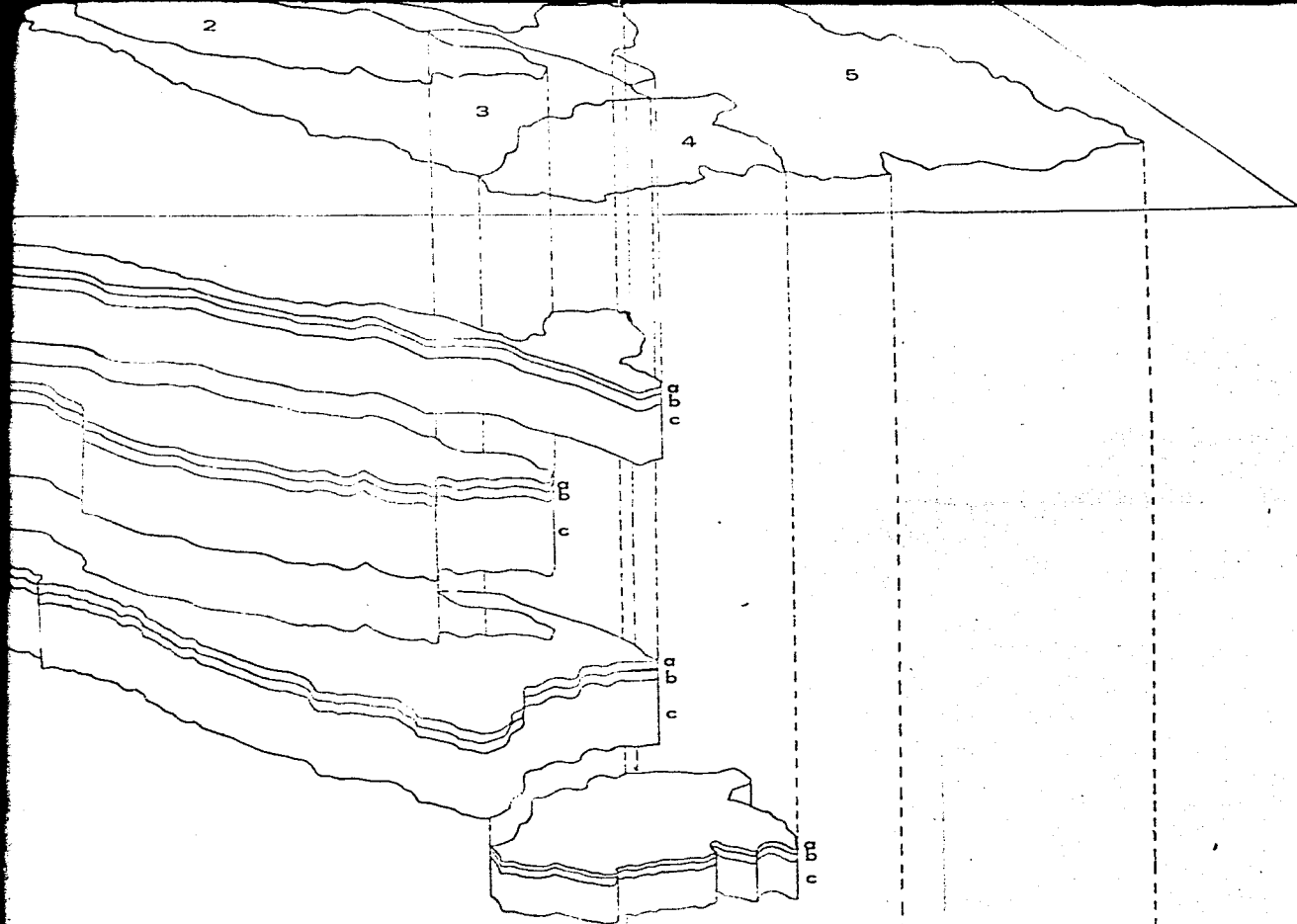


REPRESENTACION GRAFICA DE LAS SUBCUENCAS.

(relación de áreas, precipitación, infiltración, escurrimiento, y evapotranspiración potencial)

Subcuencas	Area de la cuenca en Km. <sup>2</sup>	Precipitación media anual en mm (a)	Infiltración media anual en mm (a)	Escurrimiento medio anual en mm (b)	Evapotranspiración potencial en mm (c)
1. Rfo Los Sabios	69.155	174.17	19.42	21.98	132.75
2. Rfo El Oro	91.481	230.38	25.68	29.10	175.60
3. Rfo Los Arcos	79.730	200.79	22.40	25.36	153.05
4. Ay. Peña Alta	46.755	117.74	13.12	14.88	89.75
5. Presa Requena	118.581	298.62	33.30	37.73	227.62

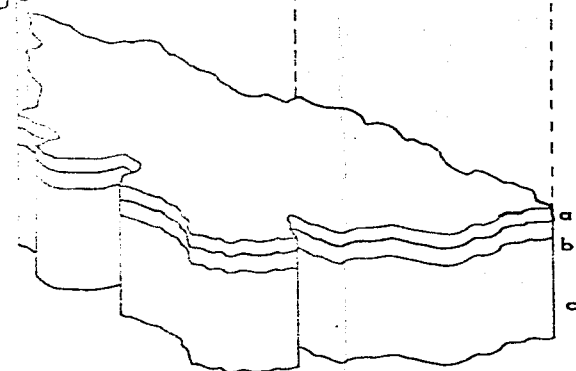


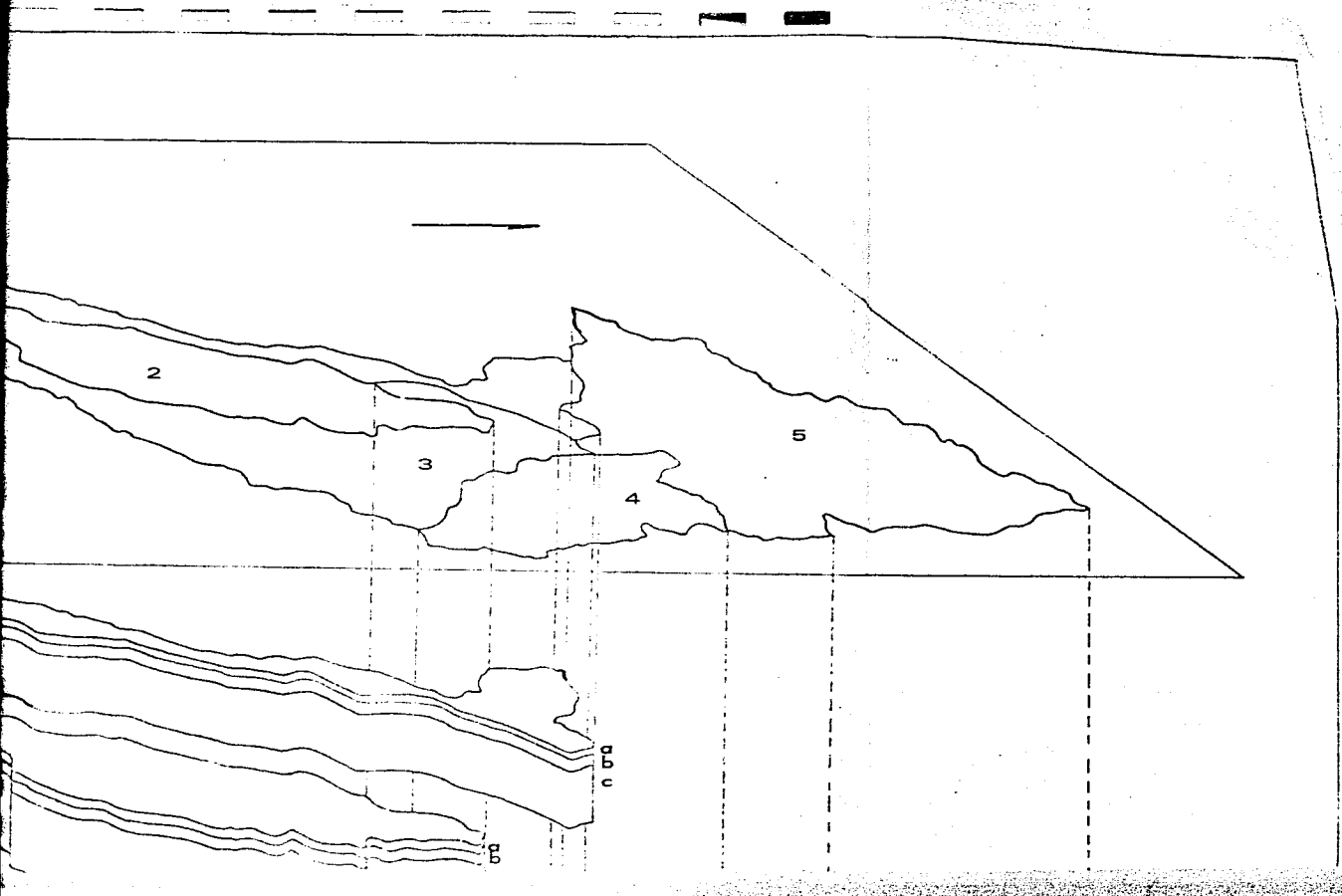


**SUBCUENCAS.**

(Infiltración, y evapotranspiración potencial)

Infiltración media anual en mm (a)	Escorrentía media anual en mm (b)	Evapotranspira- ción potencial en mm (c)
19.42	21.98	132.75
25.68	29.10	175.60
22.40	25.36	153.05
13.12	14.88	89.75
33.30	37.73	227.62







Por lo que toca a la porción que da origen al escurrimiento, puede anotarse que la distribución espacial del agua se realiza en la siguiente forma:

Un 60 % (77.40 mm) cae en las partes alta y media de la cuenca, aproximadamente desde los 2 600 m; el resto, 50 % (51.60 mm), se distribuye en la parte baja de las subcuencas de los ríos Los Sabios, El Oro y Los Arcos, del arroyo Peña Alta y el área total de la subcuenca de la presa Requena.

En lo referente a la evapotranspiración potencial, se estima que un 70 % (545.13 mm) ocurre en las partes media y baja de la cuenca, valor lógico de acuerdo con las características mesoclimáticas de aridez que tiene esta área; en tanto que el 30 % (233.63 mm) sobrante se presenta en la parte alta de la cuenca, zona húmedo-lluviosa.

Por último, respecto a los datos de infiltración, es en la parte alta de la sierra de Monte Alto y Monte Bajo, así como en la sierra de Tepotzotlán, donde, por el tipo de rocas que se encuentran, la infiltración alcanza mayor valor; entre 60 % y 70 % (68.35 mm a 79.74 mm). En todo el resto del área el material litológico, más impermeable, determina los valores mínimos, aproximadamente 30 % (34.17 mm) del total medio.

Resumiendo: los valores más altos de precipitación, escurrimiento e infiltración se encuentran en las partes media y alta de la cuenca, donde, por las características de la litología, el relieve, el suelo y la vegetación existen condiciones favorables para ello; mientras que en las partes media y baja estos valores son mínimos, no así los de evaporación y evapotranspiración potencial que son máximos, por las condiciones físicas y mesoclimáticas del área.

## 2.0.0 Dinámica fluvial.

### 2.1.0 Río Los Sabios.

Nace en la cabecera de la cuenca; su área de captación es es tá limitada: al sureste, este y noreste por la cuenca del río El Oro; al oeste por la cuenca alta del río Tepeji, y al norte, por la cuenca de la presa Requena.

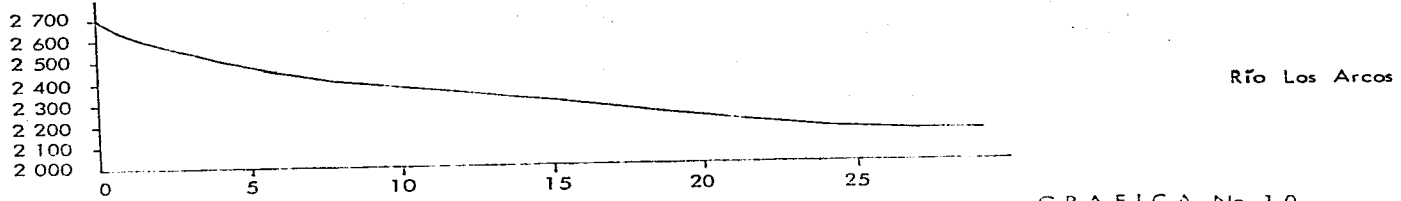
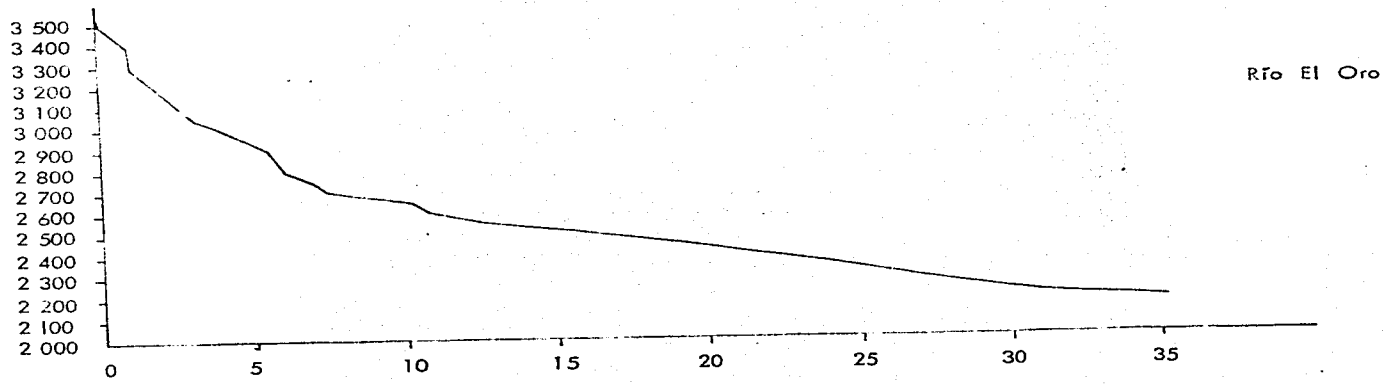
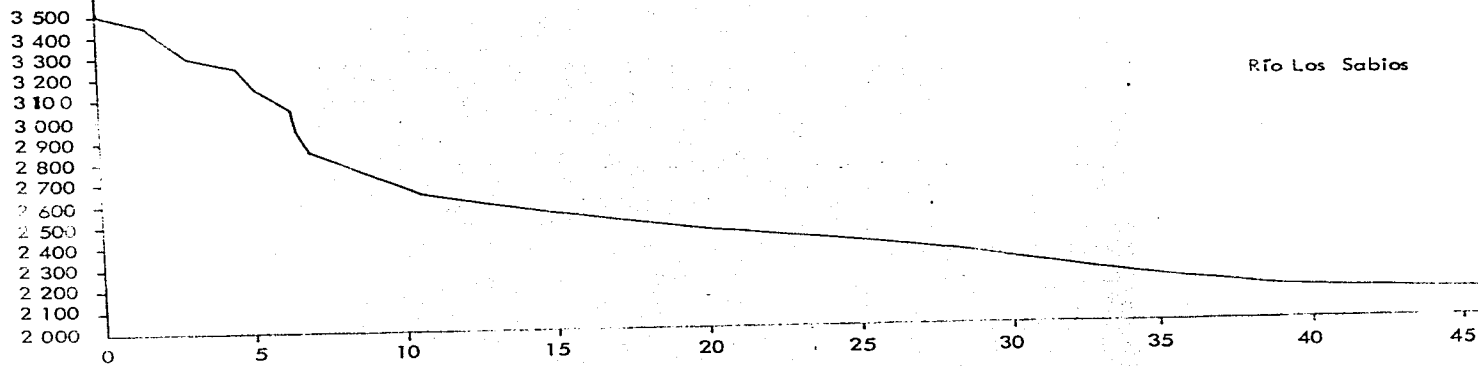
La longitud del río, desde su inicio en las faldas del ce rro Los Potrerillos, en el extremo suroeste ( a 3 550 m), hasta la presa Requena es de 58 Km aproximadamente; la dirección que sigue es hacia el noreste. A partir de su unión con el río Tepeji, aguas abajo de los 2 160 m, forma ya una sola corriente.

El área de la cuenca es de 69.155 Km<sup>2</sup>, ocupando el cuarto lugar con respecto a las áreas de las otras cuencas afluentes del río Tepeji.

Del análisis del perfil longitudinal representado en la gráfica No. 10, se deduce un cauce muy abrupto, desde su inicio has ta aproximadamente los 2 650 m, en donde cambia continuando con una pendiente suave, cota a cuyo nivel el río penetra en los depósitos volcánicos heterogéneos, parte en la que la poca resistencia de los materiales al entallamiento del río, ha hecho que éste haya alcanzado rápidamente su nivel y, por tanto, la pendiente sea mínima. A diferencia de lo que sucede aguas arriba de esta formación, donde el río se encauza en los mantos andesíticos que impiden, por su dureza, un entallamiento profundo.

La precipitación media anual de la cuenca (tabla No. 4),

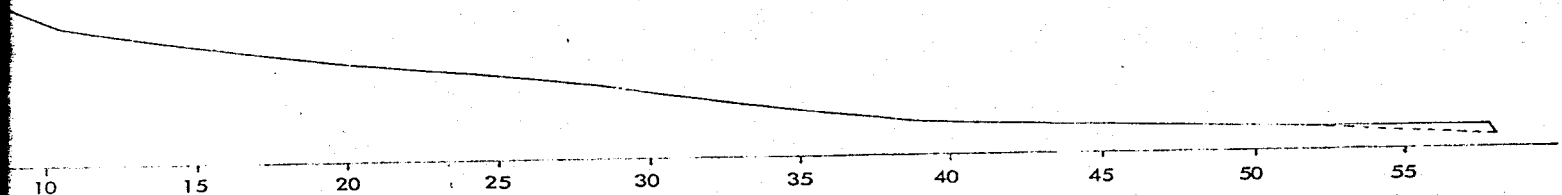
PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RIOS PRINCIPALES



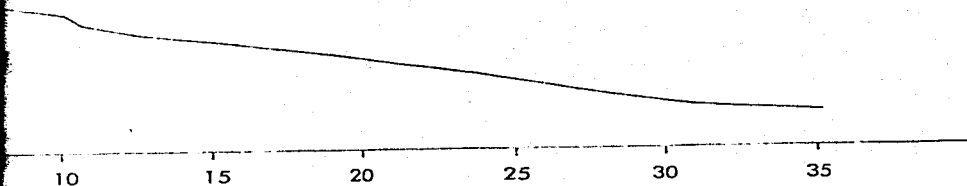
GRAFICA No 10

PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RIOS PRINCIPALES

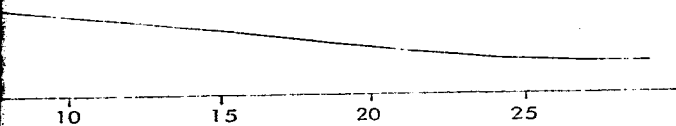
Río Los Sabios



Río El Oro



Río Los Arcos



es de 174.17 mm, valor que está representado gráficamente en relación con el escurrimiento y la evapotranspiración (ver gráfica No. 11). De acuerdo con dicha gráfica, el coeficiente de escurrimiento medio anual es de 12.62 %, quedando el porcentaje restante (87.36 %) repartido entre la infiltración y la evapotranspiración potencial, a pesar del alto valor de las cuales, el escurrimiento logrado es suficiente para que se establezca una buena dinámica fluvial. También hay que tomar en cuenta, en la alimentación del río, los aportes de aguas infiltradas meses antes, durante los periodos de lluvias, que se suman al escurrimiento una vez que afloran por medio de manantiales, o alimentando el manto freático en el lecho del río, y por los cuales hay un funcionamiento continuo del río que en la época seca (febrero, marzo y abril) alcanza sus valores mínimos.

### 2.1.1 Dinámica del río.

En el perfil longitudinal del río se puede ver que, aguas arriba de los 2 600 m, el río se encuentra dentro de las formaciones andesíticas de la sierra de Monte Alto y Monte Bajo a las que corta entallándose. Aquí el río tiene un comportamiento con lecho de fondo fijo, a causa de la resistencia que encuentra la corriente en estas rocas muy consolidadas, que originan que el lecho esté mal adaptado a las exigencias hidrodinámicas; de ahí que, desde su nacimiento hasta el contacto con los depósitos volcánicos heterogéneos el lecho presente variaciones continuas tanto en anchura como en profundidad, en cortas distancias. Su pendiente es irregular, sus riberas están mal marcadas y el agua se ve obligada a escurrir por los lugares que le oponen menor resistencia.

En el lecho del río el desgaste directo por el agua es mi

nimo porque la roca no permite una abrasión intensa de este tipo. Sin embargo, la dinámica que se establece en el mismo adquiere mayor importancia por las acciones indirectas llevadas a cabo por el intemperismo. En el transcurso de los periodos de estiaje, la desagregación térmica, la variación de la humedad y los efectos químicos del agua se encargan de fragmentar las masas rocosas, lo que origina que los fragmentos sean más o menos movilizables y susceptibles al ataque del agua corriente. Hay que considerar que estas acciones sólo se producen en las partes ocupadas por el lecho menor, y no en el canal de estiaje que funciona continuamente.

Los detritos que se obtienen de esta manera se comportan, en ciertos casos, como rocas muebles permitiendo, así, que el río adquiriera características de fondo móvil en el que las aportaciones detríticas son continuas.

Durante la época de lluvias el gasto del río aumenta y su poder erosivo adquiere gran importancia en el minamiento de las márgenes, ya que la dureza del material impide el ataque vertical directo; el socavamiento de aquéllas se efectúa por el desgaste que provoca la corriente, así como por efectos gravitacionales generados por procesos de soliflujión y derrumbes de las laderas; todo lo cual ocasiona escombros de gravedad que invaden constantemente las orillas del río. Dichos escombros forman depósitos de material muy heterogéneo, pudiéndose encontrar desde pequeños guijarros hasta grandes cantos cuyas dimensiones pueden sobrepasar los dos metros, que son removidos durante las mayores avenidas del río.

La dinámica del río cambia de manera notable a medida que penetra en las rocas muebles de los depósitos volcánicos heterogé-

neos, en donde el talweg del río se incide completamente provocando que la pendiente del lecho se haga más uniforme.

Aunque al inicio de su curso sobre los depósitos volcánicos heterogéneos el río ha nivelado su pendiente y ensanchado su cauce, aguas abajo, a partir de los 2 490 m, éste se vuelve angosto y se encajona promoviendo una fuerte incisión vertical. Esto se explica por lo siguiente: a partir de los 2 600 m, aproximadamente, hasta los 2 150 m, el área está sufriendo levantamientos lentos, pero continuos, que han provocado, por un lado, una serie de saltos de agua que coinciden con cada empuje que ha sufrido el terreno hacia arriba y, por otro, que el río, al mismo tiempo, incida el terreno verticalmente, lo que ocasiona que se encajone; esto se observa tanto en el cauce del río Los Sabios, como en los pequeños arroyos afluentes del mismo.

Todo el fenómeno continúa hasta la parte baja, en la unión con el río Tepeji.

Al entrar a la zona de los aluviones, a partir de los 2 150 m aproximadamente, hasta la presa Requena, el perfil del río es casi horizontal, lo que se traduce por un ataque lateral, ahora menos efectivo por el consumo de agua que se hace en esta parte, para usos agrícolas.

#### 2.2.0 Río El Oro.

El origen de este río está en las laderas del cerro Río Frío, de donde sale con rumbo noreste, que mantiene hasta su unión con el río Los Arcos.

Su cuenca de captación está limitada al oeste por la cuenca del río Los Sabios, hacia el norte por la cuenca de la presa Requena, y hacia el noreste, este y sureste por la del río Los Arcos. Como se puede observar en la gráfica No. 10, la longitud del río, a partir de la cota de 3 530 m, hasta su unión con el río Los Arcos, a 2 165 m, es de 35.2 Km.

El área de la subcuenca es de  $91.481 \text{ Km}^2$ , por lo cual el río ocupa el segundo lugar en comparación con las áreas de las demás cuencas; el valor de las precipitaciones medias es de 230.38 mm.

Del análisis de la gráfica No. 10, en la que se muestra el perfil longitudinal del río se observa que éste, al igual que el de Los Sabios, tiende a alcanzar su perfil de equilibrio en sus partes media y baja. Sin embargo, se observan rupturas notables en la parte alta de la pendiente del río, causadas por saltos estructurales y, al igual que en el río Los Sabios, por la dureza del material andesítico que no permite que el río logre establecer una pendiente uniforme, al oponerse al entallamiento profundo del mismo.

En la gráfica No. 11 están representados los diferentes valores de la precipitación, escurrimiento, infiltración y evapotranspiración de la cuenca; se observa que de los 230.38 mm de precipitación media anual se pierden por infiltración 25.68 mm y por evapotranspiración 175.60 mm, lo que da por resultado que del total llovido sólo escurra un 13 %. Las mayores pérdidas de agua, por infiltración, se producen en la parte alta de la cuenca, en las formaciones andesíticas que permiten la fácil y rápida infiltración de la lluvia, debido a su gran fracturamiento. En conse-



cuencia, la génesis del río se produce, al igual que en el río Los Sabios, por el afloramiento de manantiales que son producto de las aguas de infiltración en los cerros de Río Frío, La Cruz y Los Potrerillos.

### 2.2.1 Dinámica del río.

La dinámica del río dentro de las formaciones andesíticas es semejante a la dinámica del río Los Sabios; también presenta lecho de río de fondo fijo, por las rocas sumamente duras y compactas, así como la pendiente irregular, las orillas mal marcadas y las acciones del intemperismo en la época de estiaje, así como, también, por el poder erosivo en la época de gastos máximos; la carga del río también es parecida, llevando desde fracciones pequeñas de material (limos y arcillas), hasta cantos de grandes dimensiones.

Al introducirse a los depósitos volcánicos heterogéneos empieza a ensanchar su cauce debido a la menor resistencia del material; es a partir de aquí que la pendiente del río se hace más suave, pero también en este río sucede lo mismo que en el primero, a partir de los 2 530 m más o menos hasta los 2 250 m, el río se encajona y su erosión es vertical por las mismas causas que las del río Los Sabios, lo que significa que el levantamiento que se está generando empieza a influir sobre toda el área, llegando incluso hasta la cuenca del río Los Arcos, como se verá más adelante.

Este fenómeno se observa en este río porque, también, presenta una serie de resaltos en su curso y un encajonamiento dentro del material de los depósitos volcánicos heterogéneos, al igual

que sus afluentes en los que también se observa este fenómeno.

Sin embargo, en esta área existe otro factor que ha sido producido por el hombre; en efecto, éste, al talar los grandes núcleos boscosos con la finalidad de obtener terrenos para cultivos o para utilizar la madera, ha propiciado que se altere el balance hídrico regional. Así, una vez que desaparece la cubierta vegetal que sirve de aglutinante al suelo, desaparece su protección contra la erosión hídrica producida por acción pluvial; de manera que las partículas del suelo son fácilmente arrastradas por el agua, dejando al descubierto el subsuelo tepetatoso y ruñiforme; es decir, es una de las áreas con mayores problemas de erosión del suelo y, por tanto, de las que generan mayores volúmenes escurridos y mayores cantidades de azolves.

Ya a partir de los 2 250 m la dinámica del río vuelve a presentar las características de la zona de los depósitos volcánicos heterogéneos; su cauce vuelve nuevamente a ensancharse, produciendo erosión horizontal, y va divagando dentro de ese material hasta llegar a su unión con el río Los Arcos, de donde continúan hasta su confluencia con el río Tepeji.

### 2.3.0 Río Los Arcos.

Nace en la parte media oriental de la cuenca, aproximadamente a 2 710 m al sur de San Juan de las Tablas.

Su longitud hasta su unión con el río El Oro es de 24 Km, y hasta la confluencia con el río Tepeji, de 29.2 Km. El área de la cuenca, de 79.730 Km<sup>2</sup>, ocupa el tercer lugar en relación con las áreas de las otras cuencas y está limitada: al oeste por la

cuenca del río El Oro, al sur, sureste y este por la cuenca de México y al noreste y norte por la cuenca del arroyo Peña Alta.

Analizando la gráfica No. 10 que representa el perfil longitudinal del río, se puede decir que presenta ya una pendiente muy uniforme, encontrándose que corre sobre los depósitos volcánicos heterogéneos, desde su inicio hasta los 2 180 m en que penetra en los aluviones y se une al río Tepeji; hay que hacer notar que, en algunas partes, el río cruza por rocas intermedias y básicas de la sierra de Tepotzotlán que, aunque no alteran la pendiente del cauce, sí constituyen trampas para infiltración. Esto se debe a que las rocas intermedias de la sierra de Tepotzotlán son más antiguas que las de la sierra de Monte Alto y Monte Bajo y, por consiguiente, se encuentran más alteradas y fracturadas.

En los alrededores de " Arcos del Sitio " se notan tres terrazas a diferentes niveles: la primera a 2 370 m, la segunda a 2 360 m y la tercera a 2 350 m aproximadamente. Siguiendo la dirección oeste a este, en la cuenca baja del río Tepeji se observa que esta zona coincide con la zona de levantamiento de los ríos Los Sabios y El Oro, lo que significa que aun aquí llega el movimiento de levantamiento que se está produciendo en la zona; sería necesario hacer un estudio morfoestructural más exhaustivo, no solamente a nivel de cuenca hidrológica, sino regional más amplio, para poder observar claramente este fenómeno y en qué forma ha afectado y puede afectar, en el futuro, a la región.

La relación de precipitación, escurrimiento, infiltración y evapotranspiración se encuentra en la gráfica No. 11, de la que se deduce que el valor medio de la precipitación es muy elevado, lo que va a producir escurrimientos superficiales bastante fuertes.

### 2.3.1 Dinámica del Río.

La intensidad de las precipitaciones en forma de chaparrones y tormentas genera un potente agente modelador que, aunado a la acción antrópica al desforestar las vertientes, ha acelerado la erosión al reducir enormemente el coeficiente de infiltración y aumentar el valor de la escorrentía. Así, el agua, al escurrir, arrastra gran cantidad de materiales hacia las partes bajas del terreno en donde los pequeños torrentes se encargan de llevarlos al lecho del río; al efectuar una decapitación intensiva de los materiales, se produce conjuntamente la formación de cárcavas que lentamente evolucionan a grandes abarrancamientos por los cuales se pierde gran cantidad de suelo y subsuelo.

En la época húmeda, la presencia de una delgada capa vegetal a base de arbustos y pastos sirve de freno a la escorrentía y permite la conservación de una delgada capa de suelos residuales. Pero en esta zona se ha practicado una desforestación muy intensa, por lo que no sólo existen grandes abarrancamientos sino, además, estos han evolucionado a bad-lands que constituyen un serio peligro para la conservación del suelo, ya que gran parte del área está dedicada a la explotación agrícola y estos suelos son muy erodables y no oponen resistencia a la acción del agua de lluvia que los decapita y arrastra intensamente dada la fuerza con que actúan las aguas broncas de las vertientes, por lo que es fácil observar, sobre todo en las partes bajas cercanas al río, cortes por abarrancamientos más o menos profundos, grandes y continuos, en los que el terreno sufre deslizamientos y derrumbes peligrosos.

Todos estos procesos existentes en las partes media y su-

perior de las vertientes generan un transporte continuo de sus materiales, hasta el lecho del río, lo que ocasiona cargas excesivas en el gasto y causa dificultades hidrodinámicas en el lecho, por lo que su desagüe es difícil y forzado.

#### 2.4.0 Conclusión.

Los perfiles de los ríos Los Sabios, El Oro y Los Arcos, en lo que corresponde al talud, indican una tendencia a uniformar la pendiente general de sus lechos. Sin embargo, no hay que olvidar el movimiento de levantamiento que está sufriendo dicho talud, mostrado por los resaltos y terrazas que a diferentes niveles se presentan y que, según se ve, supera la actividad hidrodinámica de los ríos.

El régimen hidrológico está supeditado al régimen de lluvias, por lo que la mejor dinámica fluvial se establece durante los meses húmedos, cuando las precipitaciones son continuas e intensas en las partes altas de la cuenca. Son las lluvias de tipo orográfico-convectivas las que descargan mayores volúmenes de agua sobre las formaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, Tepetzotlán y las estribaciones de la sierra de Jilotepec.

Se encuentran los máximos coeficientes de filtración en las sierras de Monte Alto y Monte Bajo y la de Tepetzotlán, cuyos materiales a base de andesitas muy fracturadas facilitan el establecimiento de los acuíferos, como lo demuestra la presencia de manantiales que afloran en las partes bajas de los cerros y que van a sostener el régimen hidrológico de los ríos durante el resto de los meses secos.

La infiltración en los depósitos volcánicos heterogéneos es de menor importancia, tanto por las características de la formación (depósitos de vidrio volcánico y arcillas impermeables) como por los efectos de una evaporación mayor, que se presenta en alto grado, ya que la mayor parte del área cubierta por estos depósitos han perdido la carpeta natural de vegetación y, por tanto, el agua infiltrada a poca profundidad es fácilmente evaporada por influencia de mayor insolación en el terreno.

La desaparición de la cubierta vegetal, unida al carácter torrencial de las lluvias y al uso indebido del suelo por el hombre, ha dado por resultado la aceleración de los procesos morfogenéticos.

En la dinámica fluvial de los ríos se nota con claridad la relación forma-caudal, o sea que, los ríos modelan más o menos su lecho según sea el valor que alcancen sus crecidas. Este tipo de dinámica ha establecido en los ríos un lecho menor que funciona durante la época en que se alcanzan los gastos máximos en el escurrimiento; durante los meses restantes el funcionamiento del río se lleva a cabo en el canal de estiaje alimentado únicamente por las aguas que afloran de los manantiales.

Con los elementos anteriores se puede deducir que el régimen hidrológico de los ríos se caracteriza por tener avenidas cortas, pero violentas, que se realizan durante el periodo de lluvias de la estación de verano. En las laderas de la cuenca la vegetación natural ha desaparecido ocasionando una intensa erosión del suelo, de manera que la escorrentía ataca los materiales de los depósitos volcánicos heterogéneos desprovistos de suelos, o

a una delgada capa de ellos.

Por lo anterior, es necesario hacer un buen planeamiento de su uso en el que se incluya el comportamiento de los materiales tanto en estado seco como en estado húmedo, ya que en este último caso el material se caracteriza por ser poco coherente, se reblandece con facilidad y se producen en él derrumbres, deslizamientos y asentamientos - por haber estado sometido a una humedad intensa- que provocan serios peligros para la zona.

#### 7.0.0.0 Conclusiones y recomendaciones.

La interpretación y exposición de los resultados, hechas en las diferentes fases de este estudio, nos llevan a considerar su planteamiento general a fin de hacer una evaluación de su aspecto positivo o negativo, tanto desde el punto de vista académico como del utilitario. Dentro de lo académico este estudio ha sido positivo puesto que, en el avance general del conocimiento, el éxito o el fracaso en la demostración de una hipótesis siempre es positivo en cuanto genera información para que otros investigadores puedan optimizar o desechar técnicas o métodos que en determinado momento se reportan como no confiables.

Por tanto, la presentación de resultados y su discusión final aportan información valiosa para establecer comparaciones y discusiones, cuando con las mismas metodologías o con otras se ataca el mismo problema.

Al plantear este estudio conocíamos la importancia que tiene para el país el desarrollo de estudios en áreas de mínima información. Por ello principiamos con la hipótesis de que ciertos parámetros del medio natural, que nosotros denominamos "clave", podrían substituir con cierta confiabilidad datos mesurables puntuales. Todo ello con el propósito de conocer desde un plano cualitativo el funcionamiento de una cuenca y, con ello, apoyar la escasa información cuantitativa disponible, a fin de optimizar su uso en el estudio del manejo de cuencas.

La fase operativa del trabajo está apoyada en una metodología básicamente de orden geomorfológico, completada por algunos aspectos de integración sistémica en la que entraron criterios de índ



le biológico y meteorológico.

Los resultados obtenidos nos indican lo siguiente:

La información climática como se usa tradicionalmente en forma estático-descriptiva, no es funcional para estudios de este tipo. Por tal motivo recurrimos al análisis sinóptico y dinámico de los fenómenos climáticos que vimos eran principales en el balance hídrico de la cuenca. Dichos fenómenos fueron la precipitación, la temperatura, la evaporación y la evapotranspiración potencial. La transformación e interpolación de la escasa información existente requirió de un tratamiento estadístico previo a su incorporación como elementos dinámicos, fase en la que se usaron indicadores geomorfológicos, edáficos, geológicos y biológicos; por ejemplo: como elemento generador del escurrimiento, el valor de 1 021.70 mm de lluvia media anual no refleja ni su intensidad ni su distribución témporo-espacial en la cuenca; es claro que un valor así no nos dice nada en cuanto a la cantidad de agua que cae en cada cuenca, ni su intensidad, ni el volumen que formará un escurrimiento. Por esto fue necesario establecer periodos de precipitación en el año, considerando en ellos el tipo genético de la precipitación, en los cuales generalizamos rangos de intensidad de precipitación no sólo por la relación volumen/tiempo, sino el tamaño de las gotas que es más importante porque determina la erosión pluvial y, por tanto, las posibilidades de escurrimiento-infiltración.

Este último factor tuvo que ser considerado a partir del estado de humedad del suelo; las características físicas de los agregados de éste; el tipo de proceso y mecanismos morfogenéticos

detectables, y las condiciones de la cubierta vegetal. Además de una encuesta a partir de preguntas formuladas a los habitantes del área.

El tiempo de estudio de campo (año y medio), permitió ratificar en gran parte los periodos y tipos de precipitaciones, de manera que la repartición areal de las lluvias en la cuenca se basaron más en este criterio que en el de una distribución cantidad/área, como las consideradas en los métodos de Horton, polígonos de Thiessen, etc, que se restringen mucho para áreas montañosas como ésta.

Con todos los aspectos climáticos analizados con el criterio anotado pudimos establecer la carta mesoclimática que trata de ser un documento dinámico al que sólo podemos objetarle, con rigor, la cuantificación de ciertos parámetros fundamentales que, por razones de equipo e instrumental no pudimos establecer; tales parámetros fueron: velocidad del viento a diferentes niveles, humedad atmosférica y condiciones de la radiación solar.

En este rubro nuestra aportación más significativa fueron los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial utilizando la fórmula de Blaney y Criddle, que consideramos tiene un 75 % de confiabilidad, puesto que por los resultados obtenidos existe una sobreestimación que fue detectada, además, por comparación con los estudios que Martínez Luna<sup>(27)</sup> hizo en la cuenca del río La Laja, Gto. Esperamos que, en el futuro, la cuantificación de un año de datos de humedad, vientos y radiación solar permitan

(27) Martínez L.V.M. 1976. " Los factores geomorfológicos que rigen el comportamiento de la presa Ignacio Allen de, Gto. Optimización de su uso y conservación". Instituto de Geografía, UNAM. En proceso.

optimizar el uso de este método.

Por cuanto a la información de la hidrodinámica fluvial, determinamos que el área de la cuenca, la pendiente, el factor de forma y la disposición y densidad del avenamiento son elementos imprescindibles en un estudio de la hidrodinámica; todos los demás elementos analizados o indicados que pueden tener importancia en cuencas mayores pasan a un plano secundario en áreas como la trabajada. Es más importante, en cambio, el estudio particularizado de la dinámica que se establece en las vertientes como productoras de las modalidades de pérdida y concentración de agua, así como el análisis de los lechos fluviales que expresan en forma nítida el comportamiento de los volúmenes escurridos. En este aspecto nuestra información de la hidrodinámica de los ríos principales fue básica para establecer correlaciones adecuadas de la infiltración, la evapotranspiración potencial y los balances de escurrimiento.

Dentro del contexto general, aunque aparentemente tratados en forma temática, utilizamos ampliamente las características de la litología, los suelos y la vegetación a partir de su comportamiento. Particularmente fueron de gran importancia en el análisis de la escorrentía, que forma la base del escurrimiento que se establece en las vertientes. La vegetación, en cambio, nos sirvió como punto de referencia para la evapotranspiración y la infiltración, ya que su estado fenológico anual y su fisonomía marcan los umbrales de humedad del suelo y del aire. Además, el impacto que presentan ante la acción humana, y las adaptaciones serales a los cambios microclimáticos y mesoclimáticos fueron de gran utilidad para cualificar los fenómenos mesoclimáticos.

Por todo lo anterior, creemos que este estudio aporta dos aspectos positivos:

1. Una nueva visión de orden metodológico que favorece la comprensión sintética de la operación de una cuenca fluvial, expresado por un balance hídrico correlacionado con los factores más importantes de su desarrollo expresado por la carta mesoclimática.

2. La presentación de datos de evapotranspiración potencial deducidos en forma heterodoxa, pero con un buen nivel de confiabilidad, los cuales servirán para correlacionar y comparar otros estudios de esta índole.

#### Recomendaciones.

Creemos que el análisis de las cuencas menores, con fines de manejo, puede realizarse, sin gran información, a partir del análisis de la integración geocosistémica como la propuesta, para la cual recomendamos:

1. Estudio sinóptico de los elementos meteorológicos, a fin de elaborar una carta mesoclimática para lo cual se requieren los siguientes elementos: temperatura, precipitación, humedad, velocidad del viento, evaporación y radiación solar. En el caso de existir información estadística, un apoyo de un año de datos de campo será suficiente. En el caso de que exista información y un número adecuado de estaciones de registro, el cálculo y extrapolación a una índole mesoclimática pueden ser inmediatos si se apoyan con información geológica insita.

2. En el establecimiento del balance hídrico no es tan importante el agua que sale de la cuenca, sino las modalidades que ésta tiene en las vertientes, tanto por pérdidas por evapotranspiración potencial o por infiltración, como por uso humano o de escorrentía libre. En todo caso, el valor puntual, si existe, deberá siempre correlacionarse con el tipo, cantidad y frecuencia de la lluvia; si no existe podrá estimarse a partir del volumen precipitado y el análisis morfológico de los cauces en los que el análisis de la pendiente, la litología y la morfometría por secciones darán idea de los volúmenes esperados. En este mismo aspecto, la evaluación de la evapotranspiración potencial o de la infiltración, o de ambas, pueden ser muy importantes en la estimación de los volúmenes de escurrimiento.

En suma, la valoración de uno o varios elementos por cuantificación directa o indirecta, por análisis geomorfológico o geocológico, permitirá definir el comportamiento de la dinámica del agua en un medio natural, sin que ello demande recursos materiales de alto costo.

Recomendamos, por último, un análisis interdisciplinario que puede, con una metodología sistémica, llegar a determinar el comportamiento de una cuenca fluvial a fin de optimizar su manejo.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. Aparicio, G. H. 1967. " Aprovechamiento de las aguas del subsuelo del alto río Lerma en el Estado de México". Tesis profesional, UNAM, México.
2. Arellano, A.R.U. 1953. " Estratigrafía de la cuenca de México" Memoria del Congreso Científico, Vol. 3, México.
3. Barry, R. G. 1969. " Models in Meteorology and Climatology " de " Physical and Information Models in Geography", University Paperbacks, Edited by Chorley R. J. and Haggett P., Methuen London p. 97-144.
4. Birot, P. 1968. " The cycle of erosion in different climates" B. T. Batsford LTD. London.
5. Bryan, K. " Los suelos complejos y fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos " Sociedad Geológica Mexicana, Vol. No. 3.
6. Calleux, A. 1970. " Las rocas ", Serie Cuadernos, No. 87, Editorial EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.
7. Castany, G. 1971. " Tratado práctico de las aguas subterráneas" Ediciones Omega S. A., Barcelona, España.
8. Davis, S. N. y Wiest, R.J.M. de 1971. " Hidrogeología" Ediciones Ariel, Barcelona, España.
9. Derruau, M. 1966. " Geomorfología ". Ediciones Ariel S. A. Barcelona, España.
10. Estado de México. 1971. " Panorámica Socio-económica en 1970 " Tomos I y II, Toluca, México.
11. Fournier, F. 1960. " Climat et erosion; la relation entre l'erosion du sol par l'eau et les precipitations atmosphériques " Presses Universitaires de France, Paris.

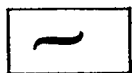
12. Guerra P, F. 1964 " Importancia de la red hidrográfica considerada como clave analítica para la identificación de las imágenes fotográficas aéreas de los recursos naturales " Anuario de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Año IV, UNAM, México.
13. Lauer, W. y Stiehl, E. 1973. " La clasificación del clima en la región Puebla-Tlaxcala " Comunicaciones. 7/1973, proyecto Puebla-Tlaxcala, No. Especial para el Primer Simposio. Fundación Alemana para la Investigación Científica. p. 31-36.
14. Melo G, C. y Contreras, D. W. 1974. " Importancia biológica y social de las reservas naturales " Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, AC. México, D. F.
15. Miranda, F. y Hernández X, E. 1963. " Los tipos de vegetación de México y su clasificación ". Sobretiro del Boletín de la Sociedad Botánica de México, No. 28, D. F.
16. Mooser, F. (1956)1957. " Los ciclos del vulcanismo que formaron la cuenca de México; en vulcanología del Cenozoico". 20 Congreso Geológico Internacional, Vol. 2, México.
17. Mooser, F. 1961. " Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México ". S.R.H., México D. F.
18. More, R. J. 1969. " Hidrological Models and Geography " en " Physical and Information Models in Geography". University Paperbacks, Edited by Chorley, R.J. and Haggett P. Methuen, London. P. 145-185.
19. Péguy, Ch. P. 1961. " Précis de climatologie " Masson and Cie. Editeurs, Paris, France.
20. Pomerol, Ch y Fouet, R. 1963. " Las rocas eruptivas" Serie Cuadernos, No. 99, Editorial EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.
21. Pouquet, J. 1951. " L'erosión", Presses Universitaires de France, Paris.

22. S.R.H. 1961. " Informe sobre la Geología del Valle de México y zonas colindantes". Comisión hidrológica de la Cuenca del Valle de México, febrero, México.
23. S.R.H. 1971. " Alto río Pánuco, datos de los ríos Tula, San Juan del Río y Metztlán ". Boletín hidrológico No. 14, Julio, México, D. F.
24. S.R.H. 1973. " Estudio geomorfológico de la cuenca del río La Laja, Gto. " Dirección de Manejo de Cuencas, Instituto de Geografía, UNAM. México.
25. S.R.H. 1973. " Cutzamala, (geomorfología de la cuenca baja ), Dirección de Manejo de Cuencas. Instituto de Geografía, UNAM, México.
26. Segerstrom, K. 1956. " Estratigrafía y tectónica del cenozoico entre México D. F. y Zimapan, Hgo. " XX Congreso Geológico Internacional, libreto guía, excursiones A-3 y C-1 p. 11-22. libreto guía excursiones A-14 y C-6 p. 311-323, México.
27. Stanescu, S. " Parámetros hidrológicos y su aplicación".
28. Strahler, A.N. 1969. " Physical geography ", Third edition. John Wiley and Sons, Inc. USA.
29. Storie, R. E. 1970. " Manual de evaluación de Suelos ", Editorial UTEHA, México.
30. Vivas, L. 1966. " Métodos de investigación hidrogeomorfológica aplicados en el estudio de una cuenca hidrográfica ", Revista geográfica, Universidad de los Andes, Vol. VII, Nos. 16-17, enero-diciembre, Mérida, Venezuela. p. 53-

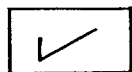


1. CETENAL. Cartas Topográficas. Esc. 1:50 000, México.  
1974. " Tepeji del Río ", clave E-14 A-18,  
1974. " Zumpango de Ocampo " clave E-14 A-19  
1973. " Villa del Carbón " clave E-14 A-28  
1975. " Cuautitlán " clave E-14 A-29.
  
2. CETENAL. Cartas Geológicas. Esc. 1:50 000. México.  
" Tepeji del Río " clave E-14 A-18  
" Villa del Carbón " clave E-14 A-28
  
3. Fries, C. Jr. 19. " Geología " -hoja Pachuca, clave 14Q-e(11).  
Instituto de Geología, UNAM. México.

FENOMENOS SECUNDARIOS



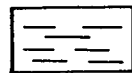
heladas fuertes



heladas débiles



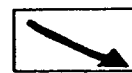
nevadas



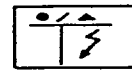
niebla estacional



viento diurno



viento nocturno

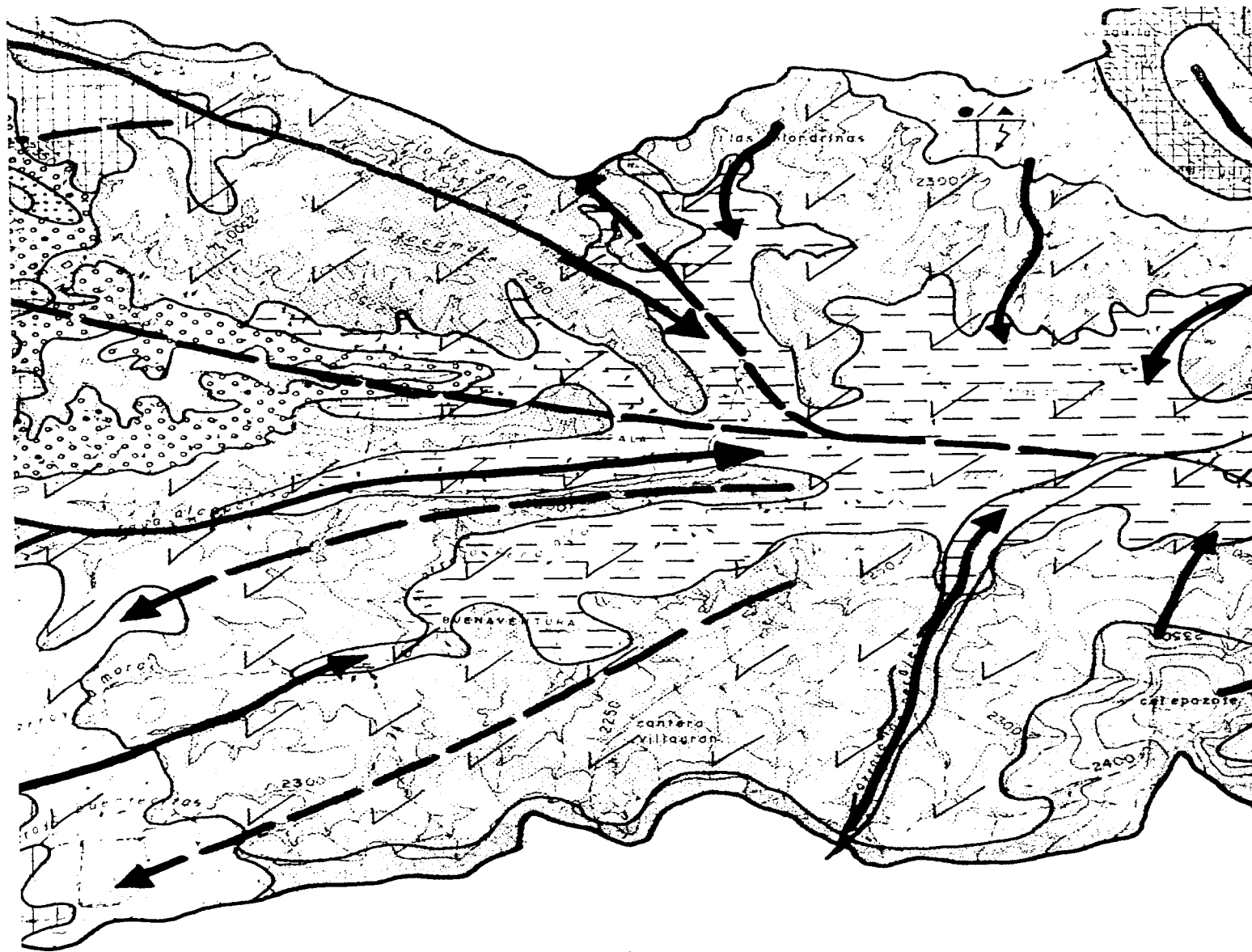


lluvias orográficas intensas  
con granizo y tormenta -  
eléctrica

99° 20'

19° 40'





1950





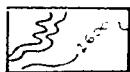
19°40'

19°45'

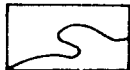
scala: 1:50 000

1 2 3 4 5

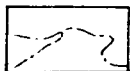
kilómetros



Curvas de nivel Eq. 50m



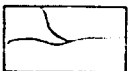
Carreteras



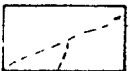
Límite Estatal



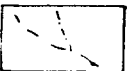
Depósitos de Agua



Río perenne



Río estacional



Río efímero

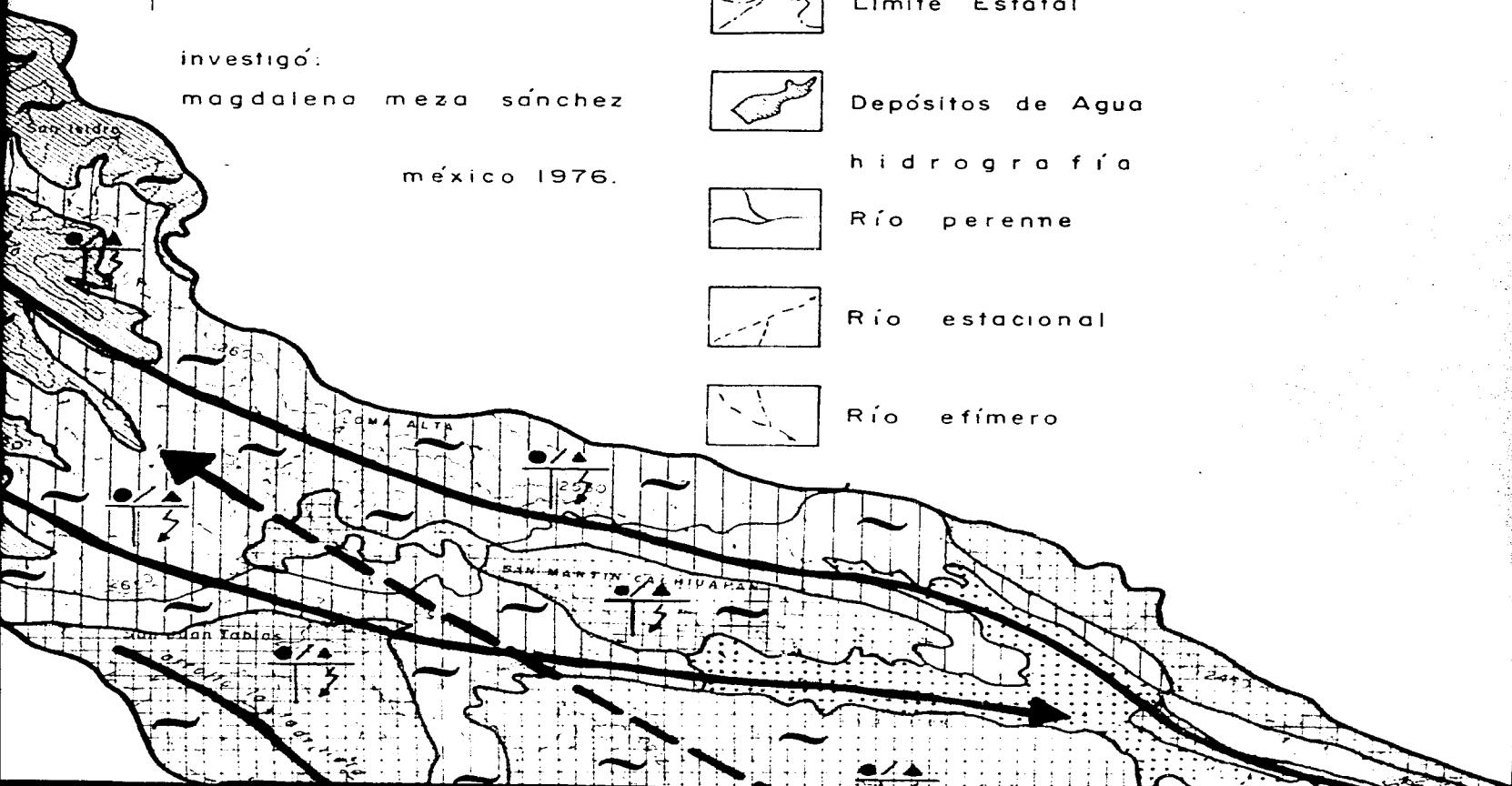
CU

Z

investigó:

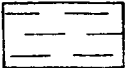

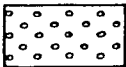
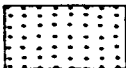

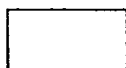

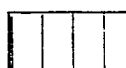

magdalena meza sánchez

méxico 1976.



# ENCA BAJA DEL RIO TE

## onificación meso

S I M B O L O G I A		I - A - 6	Templado seco
		II - A - 6	Fresco seco
		II - B - 6	Fresco semiseco
		II - C - 6	Fresco Subhúmedo
		III - A - 6	Semifrío seco
		III - B - 6	Semifrío semiseco
		III - C - 6	Semifrío subhúmedo
		III - C - 7	Semifrío suhúmedo
		IV - D - 7	Frío húmedo

Piso Tér	
I	Temp
II	Fres
III	Semi
IV	Frío

6		No. n
7		



19° 55'

RIO TEPEJI, HGO.

N

mesoclimática

99° 30'

Piso Térmico	Relación P/ETP
I Templado	A Seco
II Fresco	B Semiseco
III Semifrío	C Subhúmedo
IV Frío	D Húmedo

6  
7

No. meses con lluvia

99° 25'

