

2¹⁴eje.

00361



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARACTERISTICAS MORFOCLIMATICAS Y ESTABI-
LIDAD DE LA VEGETACION NATURAL EN LA
CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE
MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

p r e s e n t a

LILIA DE LOURDES MANZO DELGADO

Director de Tesis: Dr. Jorge F. Cervantes Borja

México, D.F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MIS PADRES.

A MIS HERMANOS.

A LA FAMILIA CENTENO MANZO.

Deseo expresar mi agradecimiento sincero

Al Instituto de Geografía por el apoyo y las facilidades que me brindó para la realización y culminación de este trabajo.

Al Dr. Jorge F. Cervantes Borja, director de la tesis, por su orientación y asesoría.

Al Dr. José López García, por su valiosa ayuda técnica, constante asesoría y revisión del trabajo.

A la M. en C. Magdalena Meza Sánchez, por sus comentarios y sugerencias en cuestiones climáticas.

A los sinodales: M. en C. Nelly Diego Pérez, Dra. María Engracia Hernández Cerda, Dr. Carlos Melo Gallegos y M. en G. Victor Manuel Martínez Luna, por sus acertadas sugerencias, revisión y comentarios del trabajo.

Al Prof. Carlos Jaso Vega, por sus valiosas observaciones en la corrección y revisión del original.

Al Arq. Marcelino Zamora, por el apoyo en la elaboración del material gráfico.

A la Sra. Rosa Sibata Molina y al Sr. Juan Vargas, de la Biblioteca "Ing. Antonio García Cubas", por su accesibilidad y apoyo en la búsqueda de materiales.

Al Sr. Luis Quintero, administrativo del Instituto de Geografía, que labora fines de semana y días festivos, lo que me permitió avanzar y terminar el trabajo.

A mis compañeros del Departamento de Geografía Física, del Instituto de Geografía, quienes desinteresadamente coadyuvaron a que lograra la meta que me propuse.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS PARTICULARES	5
I MARCO TEORICO	6
II MATERIALES Y METODO	15
III DESCRIPCION DE LA ZONA EN ESTUDIO	18
III.1 LOCALIZACION	18
III.2 GEOLOGIA	21
III.3 CONDICIONANTES CLIMATICAS	25
III.3.1 MACROCLIMA	25
A) CIRCULACION DE VERANO	25
B) CIRCULACION DE INVIERNO	26
III.3.2 VARIABLES TERMOHIDRICAS	27
A) CIRCULACION LOCAL	27
B) TEMPERATURA	28
C) PRECIPITACION	30
D) EFICIENCIA DE LA PRECIPITACION O PRECIPITACION EFECTIVA	31
III.3.3 MESOCLIMA	37
A) ZONA MESOCLIMATICA IA, CALIDA SUBHUMEDA	37
B) ZONA MESOCLIMATICA IIB, SEMICALIDA HUMEDA	40
C) ZONA MESOCLIMATICA IIIB, TEMPLADA HUMEDA	41
D) ZONA MESOCLIMATICA IVB, SEMIFRIA HUMEDA	41
E) ZONA MESOCLIMATICA VA, FRIA SUBHUMEDA	42
III.4 HIDROGRAFIA	46

III.5 SUELOS	51
III.5.1 ANDOSOL	52
III.5.2 CAMBISOL	54
III.5.3 FEOZEM	54
III.5.4 LUVISOL	54
III.5.5 ACRISOL	54
III.5.6 LITOSOL	54
III.5.7 REGOSOL	56
III.5.8 VERTISOL	56
III.6 DESCRIPCION DE LA VEGETACION Y PONDERACION DE SU COBERTURA	57
III.6.1 SELVA BAJA CADUCIFOLIA	59
III.6.2 ENCINARES	62
III.6.3 BOSQUE MIXTO DE PINO-ENCINO	63
III.6.4 BOSQUE CADUCIFOLIO	65
III.6.5 PINARES	66
III.6.6 BOSQUE DE OYAMEL	68
III.6.7 VEGETACION DE PARAMOS DE ALTURA	69
IV ANALISIS MORFOMETRICO	71
V BALANCE HIDRICO	82
V.1 BALANCE HIDRICO GENERAL	84
V.2 BALANCE HIDRICO POR SUBCUENCAS	86
V.2.1 LA SUBCUENCA RIO VERDE (A-B)	86
V.2.2 LA SUBCUENCA REAL DE ARRIEA (C)	88
V.2.3 LA SUBCUENCA PASO DEL COBRE (D)	90
V.2.4 LA SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO (E)	91
V.2.5 LA SUBCUENCA PASO DEL RAYAN (F)	92
V.2.6 LA SUBCUENCA LOS PINZANES (G)	96

VI UNIDADES GEOECOLOGICAS	107
VI.1 UNIDAD GEOECOLOGICA PARAMOS DE ALTA MONTAÑA	109
VI.2 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS ALTAS FRIAS	113
VI.3 UNIDAD GEOECOLOGICA VALLES INTERMONTANOS	117
VI.4 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS INTERMEDIAS TEMPLADAS	121
VI.5 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS BAJAS Y LOMERIOS CALIDOS	126
VII SINTESIS DE LA GEOECODINAMICA DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC DURANTE EL HOLOCENO	130
CONCLUSIONES	138
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	144
ANEXO 1	147
CLIMA	147
ANEXO 2	155
HIDROLOGIA	155

INTRODUCCION

En México, desde finales de los años cuarenta hasta principios de los sesenta se elaboraron proyectos de desarrollo regional integrales tomando como unidad las cuencas hidrológicas (Barkin y King 1970), sin embargo, debido a sus dimensiones, se encontraron diversos problemas, siendo uno de los principales la incidencia de varios estados y municipios dentro de una misma cuenca, lo cual complicó la ejecución y puesta en marcha de diversas obras y acciones.

Hoy día, independientemente aquellas experiencias, en el campo de la planeación ecológica se han retomado los estudios de cuencas hidrográficas, ya que constituyen una forma objetiva de conocer la operatividad y funcionamiento de un sistema autorregulable, abierto, formado por componentes bióticos y abióticos que guardan una estrecha relación entre sí, es decir, el geoeosistema.

El funcionamiento del geoeosistema ocurre por la entrada de energías, siendo las más importantes la solar y la fuerza de gravedad, las cuales, a su vez, promueven el viento, la lluvia y el escurrimiento hídrico, factor principal en el desarrollo de la hidrografía.

El agua que recibe el geoeosistema, a través de la lluvia, juega un papel determinante en su estructuración y funcionamiento, ya que actúa como agente mecánico y como vehículo de acción química. Esta dinámica fisico-química, origina los procesos morfogenéticos que a través del tiempo forman la red fluvial que es el componente principal de las cuencas.

La vegetación juega un papel fundamental en la dinámica morfo-genética del agua, que entra al sistema con la lluvia, ya que funciona como elemento amortiguador de la fuerza erosiva o energética de la misma. (Vargas, 1979).

Por lo anterior se puede establecer una buena correlación entre la eficiencia energética de la precipitación y la capacidad de amortiguamiento de la vegetación para identificar la eficiencia morfo-genética del agua que directamente queda expresada en la superficie del terreno por la red fluvial. De esta manera es posible considerar que un geosistema se encuentra en estabilidad cuando sus componentes regulan eficientemente la entrada y salida de energía. En el momento en que uno de sus componentes no realiza adecuadamente su función, la estructura se altera y, por tanto, el geosistema se vuelve inestable.

La estabilidad de un geosistema depende entonces en gran medida de la energía cinética liberada por la precipitación, la cual se puede identificar como una "eficiencia energética de la precipitación".

La estabilidad del geosistema puede ser alterada de entrada, por cambios climáticos, ya que éstos modifican el funcionamiento de varios componentes al promover cambios en la cantidad e intensidad del agua que entra al sistema.

Otra forma de alterar la estabilidad de un geosistema tiene lugar cuando el volumen de agua que sale del sistema es igual o mayor al volumen que entra, lo cual refleja incapacidad de amortiguamiento y el desarrollo consecuente de problemas de

erosión.

La ecología del paisaje constituye un buen medio para conocer la estructura y funcionamiento de los geoeosistemas bajo la perspectiva de su función-operación como cuenca hidrográfica, ya que su metodología ofrece posibilidades para analizar la información en forma global y sistémica.

Tomando como base lo antes expuesto se establece, como hipótesis de trabajo, que:

La cobertura vegetal es un regulador de la eficiencia energética de la precipitación y de los procesos morfogenéticos erosivos consecuentes sobre el terreno; por ello, constituye un factor "clave" para establecer cualitativamente la estabilidad de los geoeosistemas.

Por tanto, si disminuye la densidad de la cobertura vegetal se origina también una disminución de la capacidad de amortiguamiento, dando lugar a un incremento en el volumen del agua de escurrimiento, provocando una mayor eficiencia morfogenética. Este proceso altera la estabilidad del geoeosistema ocasionando, en tiempo y espacio, la aceleración en su transformación estructural y funcional.

Para comprobar esta hipótesis se consideró conveniente elegir una cuenca hidrográfica, ya que es un sistema que presenta límites bien definidos que permiten registrar las entradas y salidas de materia y energía, siendo la más importante, para los fines de este trabajo, la dinámica del agua como agente morfogenético.

La selección del área en estudio incluyó varias condiciones,

entre ellas una ubicación geográfica estratégica a través de la cual se mostrara una marcada gradación climática, lo que, a su vez, garantizaría la diversidad de comunidades vegetales con estructuras de amortiguamiento diferente.

Además la cuenca debía tener registros termopluviométricos, hidrométricos e información cartográfica.

Con tales requerimientos se eligió a la cuenca del río Temascaltepec, situada en la región centro de la República Mexicana al suroeste del estado de México, por reunir todos los requisitos anotados.

La cuenca del río Temascaltepec se inicia en la cima del volcán Nevado de Toluca, alrededor de los 4 500 msnm, y desciende, en dirección suroeste-noroeste, hasta los 800 msnm.

La posición geográfica de la cuenca y su amplio intervalo altitudinal definen varias condiciones climáticas que se asocian a diversos tipos de vegetación que incluyen elementos con las dos influencias biogeográficas.

Para comprobar la hipótesis, además de seleccionar una cuenca hidrográfica es necesario exponer que se seguirá la metodología de ecología del paisaje, a través de la cual se pretende alcanzar los objetivos que se describen a continuación:

OBJETIVO GENERAL

Conocer el papel amortiguador de la vegetación en los procesos morfogénéticos, que afectan la estructura y funcionamiento de la cuenca del río Temascaltepec.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar la eficiencia energética de la precipitación mediante el análisis de las correlaciones entre el clima, el relieve y la vegetación.

2. Determinar la capacidad de amortiguamiento que tiene la cobertura vegetal para controlar la eficiencia energética de la precipitación.

3. Establecer una zonificación de unidades morfoclimáticas mediante la correlación entre la eficiencia energética de la precipitación y la capacidad de amortiguamiento de la vegetación.

4. Conocer la estabilidad de la vegetación por medio de un análisis genético y evolutivo, para conocer las tendencias funcionales y estructurales de la cuenca del río Temascaltepec.

I MARCO TEORICO

Desde hace algunas décadas la investigación de la ecología se ha enfocado hacia concepciones teóricas y metodológicas bajo el término ecología del paisaje (Landschaftsökologie), o geoecología, como la identificó su iniciador, C. Troll, en 1939, quien pretendía la búsqueda de las múltiples relaciones existentes entre los factores y elementos de los paisajes naturales y culturales.

El análisis paisajístico es el conjunto de métodos y procedimientos técnicos que permiten conocer y explicar las regularidades de la estructura del paisaje; estudiar sus propiedades, índices y parámetros sobre la dinámica, la historia del desarrollo, los estados, y sus procesos de formación y transformación (Mateo, 1992).

Actualmente la palabra paisaje tiene diferentes concepciones, ya que ha sido retomada por varias disciplinas científicas entre las que destacan la geografía, la ecología, la antropología y la sociología.

En el campo de la biología el paisaje se acepta como una formación natural que incluye componentes y elementos.

El paisaje es una unidad de la superficie terrestre, que presenta un alto grado de homogeneidad climática y geogenética (igualmente material parental y edad geológica) que guarda una relación definida con las áreas que lo rodean.

El paisaje se caracteriza por tener las siguientes propiedades:

- La homogeneidad en la composición de los elementos y componentes que lo integran, y el carácter de sus interacciones e interrelaciones.
- El carácter sistémico y complejo de su formación, que distingue la integridad de su unidad.
- El intercambio de energía, materia e información, que determina su funcionamiento y evolución.
- Organización espacial y funcional.

Estas propiedades establecen que los paisajes son formaciones muy complejas caracterizadas por:

- La poliestructura, la heterogeneidad en la composición de los elementos que lo integran.
- Las múltiples relaciones tanto internas como externas.
- La variación de los estados, y
- La diversidad jerárquica, tipológica e individual.

A partir de los años sesenta se difundió ampliamente el enfoque o método sistémico (Bertalanffy, 1989) en muchas disciplinas, entre ellas la ecología del paisaje, lo cual dio lugar a que el paisaje fuera considerado como una noción espacial denominada geoeosistema natural, que fue definido por Sochava en 1963.

El geoeosistema natural, desde el punto de vista sistémico, es un sistema autorregulado, abierto, formado por componentes y complejos interrelacionados entre si (De Bolós, 1992).

El geosistema incluye los subsistemas abiótico, biótico y antrópico.

El subsistema abiótico incluye los elementos físicos tales como la litología, el aire y el agua, los cuales definen la estructura del geosistema.

El subsistema biótico está constituido por los organismos y sus interrelaciones, que dan lugar a las cadenas tróficas. Este subsistema es equivalente a los ecosistemas que se manejan en ecología. Los elementos que lo integran tienen la capacidad de acumular información y, por consiguiente, ofrecen una visión del estado y funcionamiento del geosistema.

El subsistema antrópico está conformado por los instrumentos e instalaciones necesarios para la vida económica y social.

Entre los límites de los subsistemas aparecen las correspondientes zonas de transición denominadas interfases. Las más importantes son las que se forman entre el subsistema abiótico y el biótico, que corresponden al subsistema edáfico, y las que se establecen entre el conjunto de subsistemas naturales (biótico y abiótico) y el socioeconómico o antrópico, denominados agrosistema.

El geosistema es abierto y dinámico, es decir, que entra y sale materia y energía.

La energía que pone en funcionamiento al geosistema tiene un origen diverso, una parte procede del exterior, como la energía solar, y la otra se origina en la Tierra a través de la fuerza de gravedad, la radiactividad y la orogenia.

De todas ellas, las más importantes para el funcionamiento

del geosistema son la energía solar, la fuerza de gravedad, la energía que se produce por el movimiento de las masas de aire, y la energía cinética liberada con el movimiento del agua.

El geosistema presenta una organización espacial y temporal, fundamentada en las interrelaciones de sus componentes, que se identifica como la estructura vertical, horizontal y funcional del paisaje (Mateo, 1984).

La estructura vertical es la asociación de todos los componentes y elementos naturales en el sentido vertical (litología, agua, aire, suelos, vegetación y fauna)

La estructura horizontal, también conocida como planar o morfológica, consiste en la difusión e interacción de los complejos naturales de diverso rango, manifestados a través del ordenamiento espacial de las diversas unidades

La estructura funcional es el intercambio de energía y materia que ocurre entre las diversas unidades, lo que se acompaña de la transformación y modificación de las propiedades de los complejos naturales.

Las características estructurales y funcionales definen el estado en el que se encuentra un geosistema, que puede ser a lo largo del día, del año o de miles de años.

El estado del geosistema obedece o depende de la relación que se establece entre los procesos internos y externos.

La sucesión de los diferentes estados de un geosistema muestra que se modifica, pero conserva sus características estructurales y funcionales, por lo que las variaciones se mantienen dentro de límites precisos.

La sucesión de los diferentes estados define el comportamiento del geosistema. Cuando la sucesión del geosistema se realiza en forma ordenada se mantiene un equilibrio o estabilidad dinámica.

El estudio de los geosistemas requiere de un análisis sistémico y funcional (Cervantes, 1983).

El análisis sistémico es un proceso que se realiza para conocer las características más relevantes de los elementos que integran los subsistemas biótico y abióticos, con el fin de establecer un diagnóstico y preevaluación de sus desarrollos genéticos y evolutivos.

El análisis funcional es un conjunto de fases sucesivas a través de las cuales se conoce el papel que desempeñan los elementos bióticos y abióticos en la estructura operativa. En él es importante identificar los diferentes factores que condicionan el funcionamiento del geosistema, incluyendo los de cambio y de control.

Las cuencas hidrográficas constituyen la forma más objetiva para conceptualizar la operatividad de un geosistema (Strahler, 1984). Esto es así porque forman un sistema discreto con umbrales de entrada y salida de materia y energía bien definidos, en el que el agua es el principal elemento funcional.

Una cuenca hidrográfica es el área de captación de una red natural de drenaje, cuyas aguas son recogidas por un colector común o cauce principal (Urbina, 1974), e incluye estructuras de captación, conducción y control.

Las estructuras de captación se definen por la forma de la

divisoria de aguas y su orientación. La divisoria de aguas marca los límites más altos entre cuencas adyacentes, aunque en ocasiones se pueden encontrar elevaciones aisladas con mayor altitud. Este límite separa la precipitación que cae entre cuencas contiguas, y dirige el flujo hacia uno y otro sistema (Urbina, 1974). El volumen de captación de una cuenca depende de la superficie que abarque y del tipo de precipitación que se registre en el área.

Además del tamaño de la cuenca es importante su orientación, ya que esto determina la cantidad de sol que recibe durante el día. Así, las vertientes de cuencas con orientación N-S reciben insolación irregular a lo largo del día. En cambio, las vertientes de cuencas con orientación E-W reciben insolación durante todo el día.

Las estructuras de conducción están representadas por el conjunto de canales naturales por los que fluye el agua, que se identifican como cauces fluviales o talwegs. Estas estructuras conducen y distribuyen el agua por todo el sistema, a distintos niveles, lo cual influye en la dirección y volumen de escurrimiento superficial.

El conjunto de cauces naturales da lugar a una red que tiene forma, longitud, densidad y frecuencia variable (Strahler, 1984).

Urbina (1974) establece que el escurrimiento de una cuenca hidrográfica es directamente proporcional a los factores que definen el clima y el relieve, e inversamente proporcional a la constitución del suelo y la cobertura vegetal. Así, la torrencialidad crece al aumentar la intensidad de la

precipitación y la pendiente media de la cuenca, y decrece al aumentar la resistencia a la erosión, infiltración, densidad y tipo de la cobertura vegetal.

Las estructuras de control de la cuenca hidrográfica son la cobertura vegetal y el suelo, ya que regulan el flujo de agua merced a los procesos de evaporación e infiltración.

La cobertura vegetal amortigua la eficiencia energética de la precipitación. La protección que ejerce depende de su densidad.

Del total de la precipitación que se capta en una cuenca hidrográfica, una parte queda retenida en el follaje y, posteriormente, una parte se evapora, la restante se escurre en las hojas de las plantas o se desliza por los tallos.

La cobertura vegetal natural esta formada por hierbas, arbustos, árboles o diversas combinaciones, que pueden ser perennifolias o caducifolias. La disposición de estos elementos puede variar desde una capa abierta y diseminada en diversos grados, hasta una capa completamente cerrada. Tal arreglo puede formar un dosel continuo o diseminado que interceptará la precipitación.

Desde el punto de vista funcional, todas las características de la vegetación participan en la regulación de la velocidad del flujo hídrico, logrando acelerarlo o retardarlo.

El suelo es una capa superficial cuyo contenido de coloides, arena, limo y arcilla controla la cantidad de humedad, influyendo en una mayor o menor infiltración de agua pluvial y, al mismo tiempo, regula el escurrimiento superficial.

Parte del agua que se precipita regresa a la atmósfera por la evaporación y la transpiración de las plantas, ambos identificados como evapotranspiración. Este proceso depende de las variaciones de temperatura, humedad y las demandas de agua que requiera la vegetación.

De los factores que intervienen en el funcionamiento y operación de las cuencas hidrográficas se considera que el clima es el más importante, ya que de él depende el desarrollo de la mayoría de los procesos, al mismo tiempo que determina el volumen de agua que circula dentro del geosistema.

La precipitación que cae en la cuenca hidrográfica constituye una forma de energía potencial que, al tocar la superficie de la tierra, se identifica como "eficiencia energética de la precipitación", para determinar la cual es necesario conocer las condiciones climáticas generales e identificar los cambios que se registran por efecto de las características topográficas que establecen, finalmente, una condición mesoclimática.

La estabilidad de la cuenca hidrográfica, desde el punto de vista hidrodinámico, depende del volumen de agua captada, proveniente de la precipitación, y la capacidad que la propia cuenca tenga para regular la velocidad del flujo de agua en el sistema, antes de su salida. La inestabilidad de este sistema depende de las modificaciones que se presenten en las estructuras de captación y control, ya que ambos pueden modificar la velocidad del flujo.

La estabilidad de una cuenca hidrográfica puede ser

alterada por cambios climáticos o por modificaciones en la cobertura vegetal. Los primeros generan el desplazamientos de las comunidades vegetales hacia mejores oportunidades de uso del agua, y las segundas modifican la capacidad de amortiguamiento, lo que ocasiona mayor velocidad del flujo hídrico y, con ello, causan problemas de erosión que en varios casos son irreversibles.

II MATERIALES Y METODO

Para conocer la estructura y funcionamiento de la cuenca del río Temascaltepec, y poder definir las características morfoclimáticas y la estabilidad de la cobertura vegetal, se realizó en el marco metodológico de la ecología del paisaje, un análisis geocositémico que incluye una etapa de diagnóstico y otra de síntesis.

En la etapa de diagnóstico preparatoria se compiló, revisó y evaluó el material bibliográfico, cartográfico y estadístico existente.

La base cartográfica se apoyó en la regionalización hidrológica establecida por la SARH (1971), y fue precisada en las cartas topográficas del INEGI (1974), escala 1:50 000, hojas Tuzantla, Valle de Bravo, Nevado de Toluca, Bejucos, Tejupilco e Ixtapan.

Se manejaron estadísticamente se manejaron los registros meteorológicos de las estaciones Nevado de Toluca, La comunidad, San Francisco Oxtotilpan, Real de Arriba, Tequesquipan, Temascaltepec, Paso del Cobre, Acatitlán, Luvianos y Las Juntas, todas localizadas dentro de la región en estudio, y a cargo de la SARH. Asimismo, se estandarizaron los registros hidrométricos de las estaciones A-12-La Comunidad; Río Verde; A-11-Real de Arriba; Paso del Cobre; Paso del Guayabo, y Paso del Rayán, a cargo de la SARH.

El análisis del comportamiento de los factores climáticos y la eficiencia energética de la precipitación se hizo siguiendo los criterios propuestos por Contreras (1945) y modificados por

Meza (1976). Con la información procesada se diferenciaron y establecieron las unidades mesoclimáticas de la zona en estudio.

Las comunidades vegetales se analizaron desde el punto de vista de su cobertura, asignándole a ésta una ponderación porcentual para medir su eficacia en el control de la energía pluvial.

Para determinar la estructura dinámica de la cuenca se efectuó un análisis morfométrico siguiendo el método de Strahler (1974), con ello se clasificó la red de drenaje en orden jerárquico y se obtuvo, para cada subcuenca principal, la densidad general de cauces fluviales, la densidad de cauces fluviales de primer orden y la frecuencia de cauces fluviales de primer orden. Los resultados obtenidos se ponderaron, cualitativamente, en tres clases: alta, media y baja, quedando también clasificadas dentro de estos órdenes las subcuencas.

También se llevó a cabo la cuantificación del balance hídrico, tomando como referencia la división de cuencas que se establece por las estaciones hidrométricas colectoras. El balance se realizó con la fórmula general propuesta por Strahler (1974): $P = Q + E + I$. Cabe aclarar que los datos de evaporación se sustituyeron por los de evapotranspiración, según el procedimiento propuesto por Blaney y Criddle en 1945 (citado en Dominguez, 1971).

En la etapa de síntesis se interpretaron los resultados mediante un enfoque integral, para lo cual se construyó un perfil morfoclimático en el que funcionalmente el geoeosistema global de la cuenca se dividió en estructuras operativas definidas como

unidades geoecológicas. Finalmente, se esbozaron algunas consideraciones hipotéticas de las diferentes condiciones climáticas a las que ha estado sometida la zona en estudio, y los efectos que dicho cambio ha ocasionado en la estabilidad de los geoeosistemas y del paisaje general.

III DESCRIPCION DE LA ZONA EN ESTUDIO

III.1 LOCALIZACION

La cuenca del río Temascaltepec se ubica en la región centro de la República Mexicana, al sureste del estado de México, cubriendo parte de las provincias del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

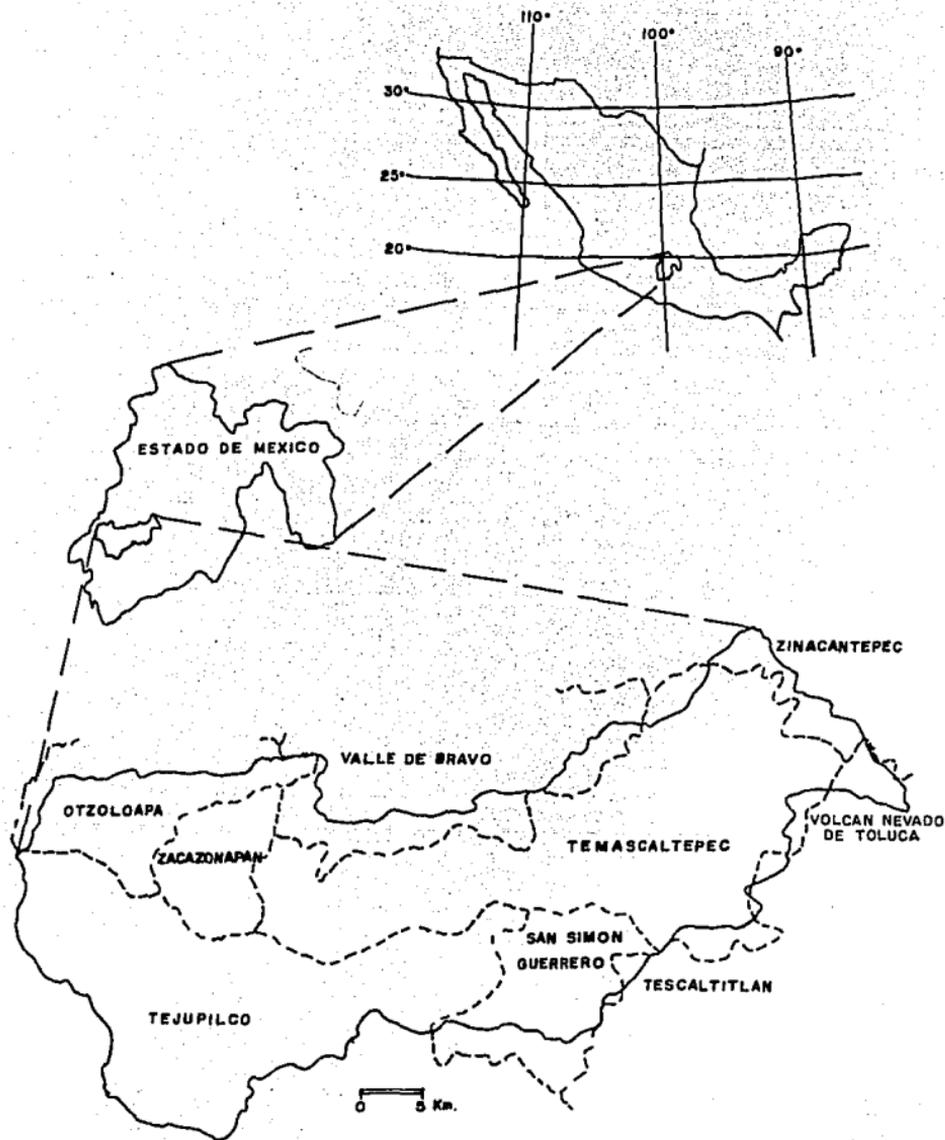
Desde el punto de vista político la zona se ubica al SW de la entidad federativa estado de México, ocupando las jurisdicciones municipales de Otzoloapa, San Simón de Guerrero, Tejupilco, Temascaltepec, Tescaltitlán, Valle de Bravo, Zacazonapan y Zinacantepec.

La zona tiene como coordenadas extremas $18^{\circ}52'09''$ a $19^{\circ}14'00''$ de latitud norte y $99^{\circ}46'00''$ a $100^{\circ}24'31''$ de longitud oeste de Greenwich.

La cuenca presenta una forma alargada, estrechándose en la parte más alta; tiene una orientación suroeste-noreste, y se inicia en la cima del volcán Nevado de Toluca, en los picos más prominentes, el Fraile y el Aguila, que alcanzan altitudes máximas de 4 545 y 4 495 msnm, respectivamente, y desciende hasta los 800 msnm, donde el río Temascaltepec se une con el Tilostoc. Cubre una superficie aproximada de 1 225 Km², con una longitud, de la parte más alta a la más baja, en línea recta, de 63 Km, y un perímetro de 205 Km. La cuenca, que es de topografía accidentada, colinda al norte con la del río Tilostoc y al sur con la del río Ixtapan (véanse mapas de localización e infraestructura general).

Por sus características hidrográficas se divide en tres

LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC,
ESTADO DE MEXICO.



regiones: la cuenca alta, que se extiende por arriba de los 2 000 msnm, que está integrada por las subcuencas del río Verde y el arroyo El Vado; la cuenca media, que se extiende entre los 1 200 y 2 000 msnm, incluye las subcuencas del arroyo Los Quelites, río El Chilero, arroyo La Laja, río El Campanario, arroyo Zacazonapan, arroyo Chiquito y río La Mina de Fierro; y la cuenca baja, que se localiza por abajo de los 1 200 msnm, que incluye a las subcuencas de los arroyos Agua Zarca, San Miguel, El Jaconal y Los Sabinos.

III.2 GEOLOGIA

La zona se extiende entre dos unidades fisiográficas: las provincias del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur.

En la región noreste de la cuenca y por arriba de los 2 000 msnm, se encuentra la provincia del Eje Neovolcánico Transversal, caracterizada por un relieve formado por montañas altas, con pendientes fuertes y abruptas (11-39°), y valles intermontanos, con pendientes ligeras y moderadas (3-11°); geológicamente está formada por rocas ígneas extrusivas del terciario y cuaternario: andesitas, basaltos, tobas y brechas.

En la región suroeste de la cuenca, por abajo de los 2 000 msnm, se encuentra la provincia de la Sierra Madre del Sur, cuyo relieve está formado por montañas medias y bajas, con laderas fuertes (11-22°) y extensos valles con pendientes ligeras y moderadas (3-11°); geológicamente está formada por esquistos y metavolcánicas del jurásico y cretácico, con algunos afloramientos riolíticos, graníticos y depósitos tobáceos.

Las rocas más antiguas, del jurásico al cretácico,

identificadas como metavolcánicas, se presentan en el extremo oeste, con características ácidas e intermedias, muy fracturadas, lo que hace suponer que son de origen granítico, y andesítico en menor escala.

En el plioceno y pleistoceno hubo una intensa actividad volcánica dentro del Eje Neovolcánico Transversal, que dio origen al Nevado de Toluca, formado por materiales andesíticos muy fluidos y material piroclástico, que formaron extensos depósitos de brechas que fueron frenados por elevaciones de esquistos, como es el caso del cerro de la Soledad, en el centro de la cuenca.

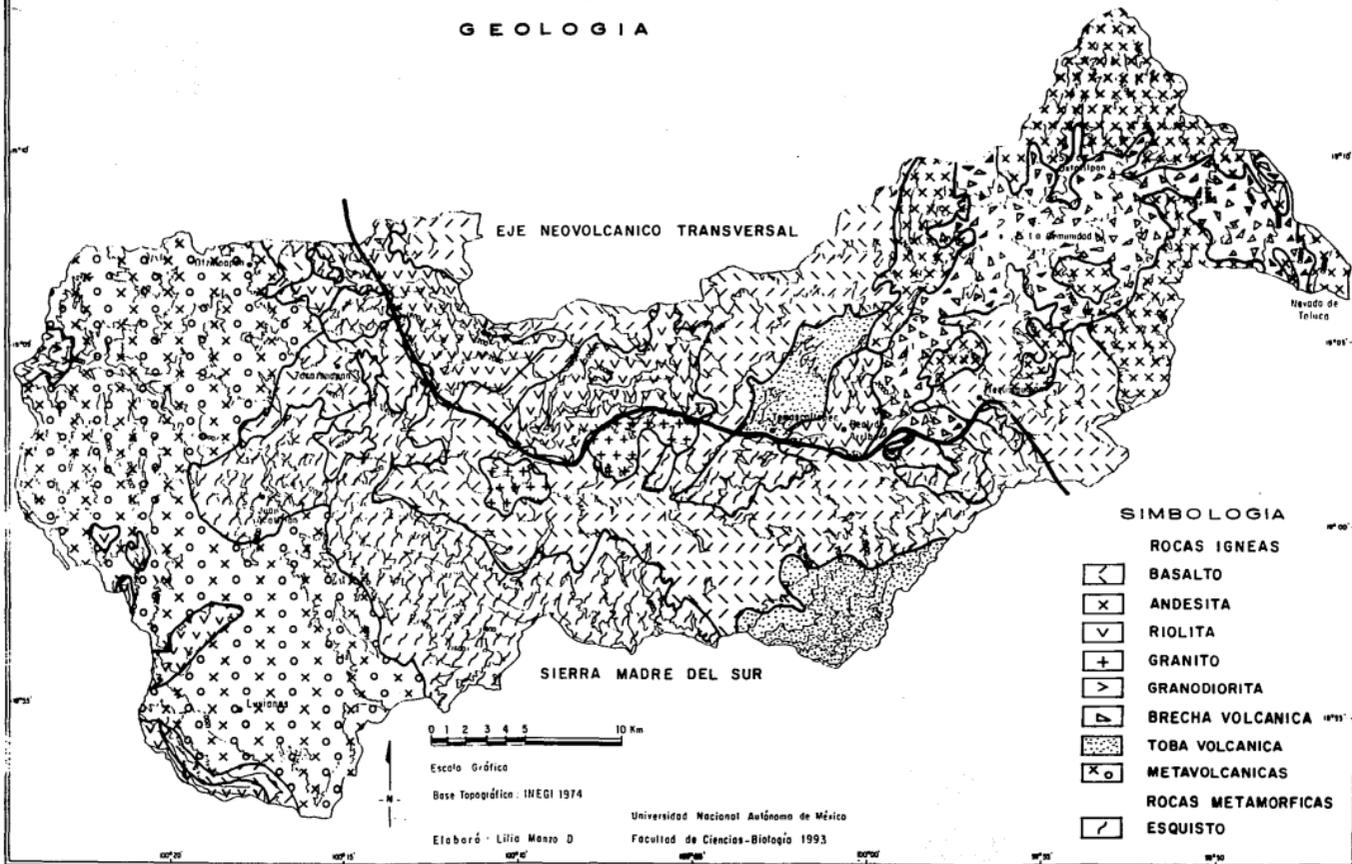
En el plioceno los esquistos de las partes más bajas fueron cubiertos por derrames riolíticos que se localizan al norte y noroeste de Temascaltepec, y por tobas representadas en el extremo sureste de la misma población.

La actividad volcánica continuó en el pleistoceno, formando diferentes conos de emisión de material basáltico que terminó por cubrir gran parte de los esquistos mesozoicos, dejando descubierto el extremo centro oeste que presenta mayor elevación, así como gran cantidad de afloramientos tanto de granitos del mesozoico como riolitas y tobas del terciario. (véase mapa de Geología)

En relación con la geología histórica de la zona, según estudios realizados en la República, se puede deducir que el área en estudio, desde el pérmico hasta el jurásico inferior se encontraba emergida; quedando en el jurásico superior bajo las aguas marinas, durante un lapso prolongado, debido a la

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

GEOLOGIA



comunicación que se estableció entre el Golfo de México y el Pacífico (Kellum, 1944. citado por Rzedowski, 1978). Esta situación prevaleció hasta finales del cretácico tardío, cuando comenzó la emersión definitiva. Vestigios de estas actividades prevalecen en la región occidental de la cuenca en estudio, representados por una extensa planicie ondulada formada por rocas metavolcánicas.

Los principios del eoceno fueron el escenario de la orogénesis hidalguense, responsable del plegamiento y levantamiento de la Sierra Madre del Sur. Estos procesos quedaron plasmados en los macizos metamórficos que se encuentran en la parte centro-sur del área en estudio.

En el cenozoico, específicamente a mediados del terciario (oligoceno-mioceno), se manifestó el primer periodo de actividades volcánicas y orogénicas, abarcando el área de la Sierra Madre Occidental, Baja California, altiplanice y sur de México.

El segundo periodo de intensa actividad volcánica comprende el plioceno y pleistoceno, y tuvo lugar en el centro del país, dando origen a las elevaciones que constituyen el Eje Neovolcánico Transversal. Es entonces cuando el vulcanismo se desarrolla en la zona en estudio, cuyo producto se manifiesta en la región oriental y centro-norte, incluyendo como principal representante al Nevado de Toluca (López, 1983).

III.3 CONDICIONANTES CLIMATICAS

III.3.1 MACROCLIMA

Como resultado del análisis de los climogramas de las estaciones situadas dentro de la cuenca (véanse Gráficas Nos. 1-10 y Anexo 1) se identificaron las características más relevantes de la dinámica atmosférica, presentes en el transcurso del año, para la cuenca del río Temascaltepec.

El clima de la zona en estudio está determinado por su posición geográfica y altitudinal en la zona intertropical, por lo que recibe influencia de masas de aire continental y de circulación superior, que se modifican por las características topográficas, originando la circulación local. En general, muestra un comportamiento típico de las regiones tropicales, en donde se presenta una circulación de verano y otra de invierno.

A) Circulación de verano

Con respecto a la circulación de verano, es durante esta época cuando se recibe casi la totalidad de las lluvias (sobre 93 % de la precipitación total anual) provocadas principalmente por el desplazamiento de la Zona Intertropical de Convergencia de la Circulación General de la Atmósfera, hacia el norte, que permite la entrada de los vientos alisios, de fuerte intensidad y amplitud, que se introducen al país como masas húmedas.

Para el área en estudio esta circulación se inicia en el mes de mayo. En esta época se alcanzan los máximos térmicos; sin embargo, este aumento de temperatura se ve amortiguado por la humedad ambiental producida por las lluvias, que llegan a su máximo hacia fines del verano y principios del otoño

(septiembre-octubre). Asociados a ellos están las ondas del este, que refuerzan esta humedad, y los ciclones tropicales, que se presentan hacia fines del verano, que provocan las precipitaciones más abundantes del año. Hacia fines de octubre las lluvias van decreciendo paulatinamente a medida que decrece la influencia de la circulación de verano y empieza a actuar la circulación de invierno.

B) Circulación de invierno

En invierno, con el desplazamiento de la ZIC al sur, disminuye considerablemente la precipitación; sin embargo, se presentan las ondas frías extratropicales que provocan descensos térmicos, siendo más significativos en las partes altas de la cuenca donde, incluso, se producen nevadas en los meses de enero y febrero. En esta temporada también se presenta la influencia de los vientos del oeste, introduciendo una poca humedad que representa menos del 4 % de la precipitación total anual.

La influencia climática tropical que recibe la cuenca del río Temascaltepec se modifica por su amplio intervalo altitudinal que se extiende entre los 800 y 4 500 msnm, dando lugar a la presencia de varios tipos de climas, según la clasificación de García (1981), entre los que el cálido subhúmedo $Awo(w)(i')g$ y $Aw1''(w)(i')g$, domina entre los 750 y 1 000 msnm; el semicálido subhúmedo $(A)C(w1)(w)$ y $(A)C(w2)(w)$ entre los 1 000 y 2 000 msnm; el templado subhúmedo y húmedo $C(w2)(w)$ y $C(m)(w)$ entre los 2 000 y 4 000; y el frío subhúmedo por arriba de los 4 000 msnm. A continuación se presenta un cuadro resumen, y en el anexo de climas las características de cada tipo climático.

RESUMEN DE LOS GRUPOS Y SUBGRUPOS CLIMATICOS

Grupo	Subgrupo	Tipo climático	temperatura media anual °C	altura msnm
A	Cálidos A	Awo (w)	> 22	750-1000
		Aw1 (w)	> 22	750-1000
C	Semicálidos (A)	(A)C(w1) (w)	> 18	1000-2000
		(A)C(w2) (w)	> 18	1000-2000
	Templado C	C(w2) (w)	12-18	2000-4000
		C(m) (w)	12-18	2000-4000
E	Fríos	E(T)HC(w2)	-2- 5	>4000

III.3.2 VARIABLES TERMOHIDRICAS

A) Circulación local

Las elevaciones que conforman el parteaguas de la cuenca, situadas al oeste (Sierra Nanchititla) y al este (Nevado de Toluca), actúan como barreras al flujo del aire superficial.

En la zona los vientos reinantes son del oeste y suroeste, los cuales, por su intensidad, también se consideran dominantes.

Los vientos del oeste entran, y con una trayectoria hacia el este, se ven forzados a ascender, por las elevaciones que encuentran a su paso, hasta llegar a las mayores altitudes que conforman el parteaguas en la porción este.

Los vientos del norte entran en la cuenca por la región noreste, atravesándola con dirección sureste. Parte de ellos se dirige hacia el centro de la región, hasta encontrarse con los del oeste, aproximadamente en el área de Temascaltepec.

En la cuenca se presentan dos zonas que se pueden considerar como corredores de viento. Una se encuentra al suroeste, entre las estribaciones de la Sierra de Nanchititla y el Cerro

Caguirica, a la que se le ha denominado Puerto el Estanco. La otra se localiza al sureste, entre los cerros La Cueva y Los Tejocotes, conocida como Puerto el Pino.

B) Temperatura

En la cuenca se presentan, en forma dominante, dos máximos y dos mínimos de temperatura. Los meses más cálidos, regularmente, son abril, mayo y junio.

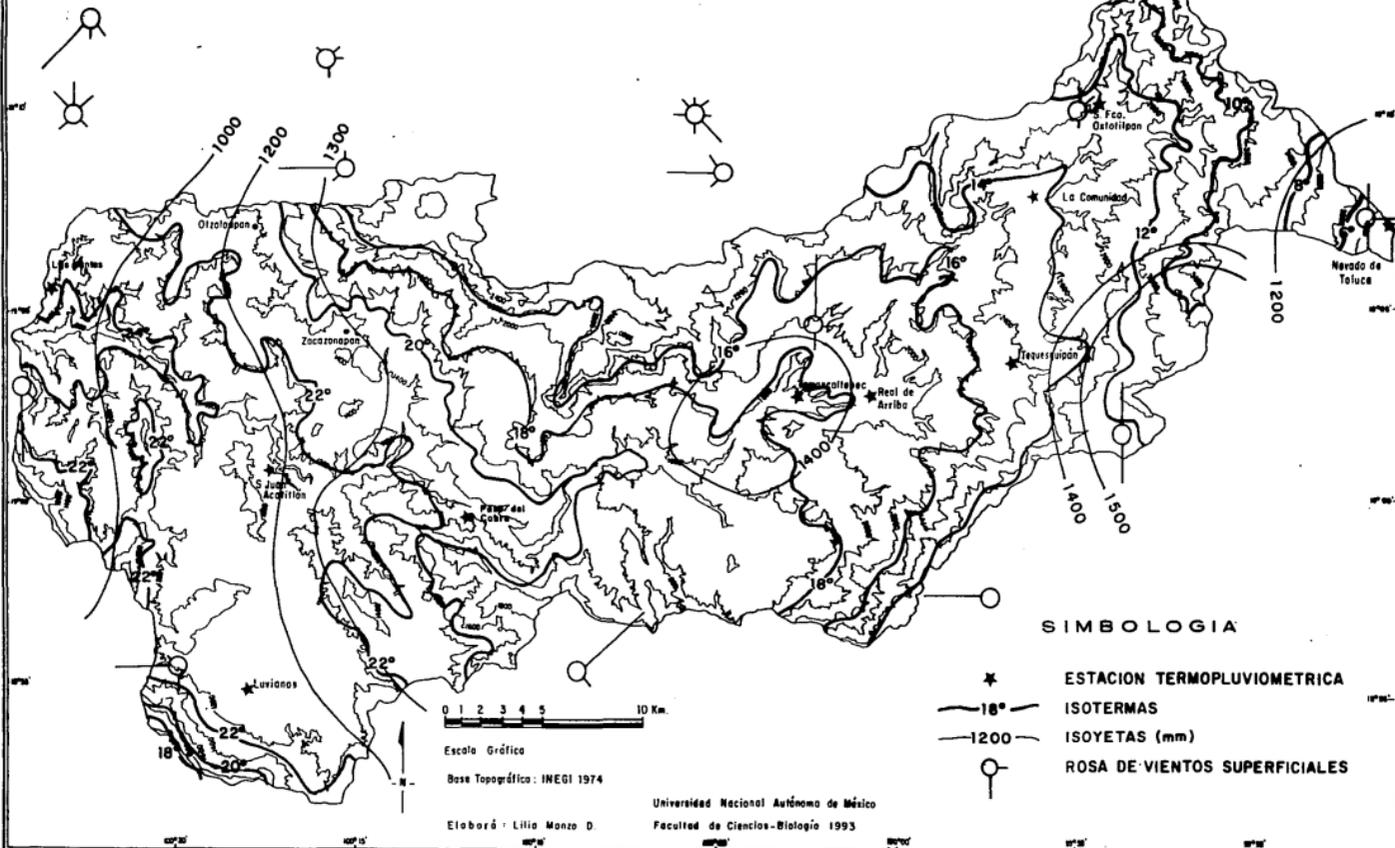
Los meses más fríos suelen ser, en general, diciembre, enero y febrero, esto se debe a la penetración de las ondas frías extratropicales, o vientos del oeste.

La temperatura disminuye gradualmente de oeste a este, o bien al aumentar la altitud. El gradiente térmico promedio es de 0.53°C . Así, la temperatura promedio más baja se registra en la estación climática del volcán Nevado de Toluca: 3.9°C a 4 120 msnm, la cual asciende a 13.3°C a los 2 700 msnm; esta misma se incrementa gradualmente, con el descenso de altitud, hasta la parte final en donde se registran 25.4°C a 750 msnm, en la estación Las Juntas; en la parte baja de la cuenca se encuentra la isoterma de 24°C , aproximadamente a los 1 000 msnm y la de 22°C a los 1 400 msnm; hacia la parte media, la isoterma de 20°C a los 1 500 msnm, la de 18°C a los 1 800 msnm y la de 16°C alrededor de los 2 200 msnm; en la parte alta se presentan las de 14, 12, 10, 8 y 6°C , las cuales se ubican aproximadamente a los 2 600, 2 900, 3 200, 3 500 y 3 900 msnm, respectivamente (véase mapa de Condiciones climáticas).

La oscilación térmica de la parte baja de la cuenca va de poco extremosa ($5.8 - 6.6^{\circ}\text{C}$) a extremosa (7.4°C), y en la parte

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

CONDICIONES CLIMATICAS



media y alta es isotermal (4.9 - 2.9°C) (véase Anexo 1).

C) Precipitación

En la cuenca prevalecen las lluvias de verano. Las precipitaciones formales empiezan en junio y generalmente se extienden hasta septiembre, siendo julio o agosto los meses en que comúnmente llueve con más abundancia.

La circulación de los vientos trae como consecuencia que se presenten lluvias de tipo convectivo y orográficas.

Las lluvias de tipo convectivo se presentan principalmente en la porción oeste. Estas se caracterizan por ser de corta duración y de fuerte intensidad. Las lluvias de tipo orográfico se presentan principalmente en la zona de condensación de las elevaciones que conforman el parteaguas este. Con respecto a la intensidad y duración de estas lluvias se puede decir que son más variables que las de tipo convectivo.

El factor orográfico es determinante en la distribución de la humedad y de las lluvias, por ello hay una transición de régimen de humedad, de subhúmedo, en la parte baja, a húmedo, en la parte media y alta de la cuenca; en la parte baja se hallan las isoyetas: de 1 000 mm, aproximadamente a los 1 000 msnm; la de los 1 200 mm, alrededor de los 1 200; y la de 1 300 mm, a los 2 400 m de altitud, ésta también se presenta por arriba de los 3 600 msnm; en la parte media se encuentra la isoyeta de los 1 400 mm, formando una isla sobre los 1 500 msnm; por último, la isoyeta de los 1 500 mm se encuentra en el extremo sur de la parte alta de la cuenca, aproximadamente a los 3 400 mm (véase mapa de Condiciones climáticas).

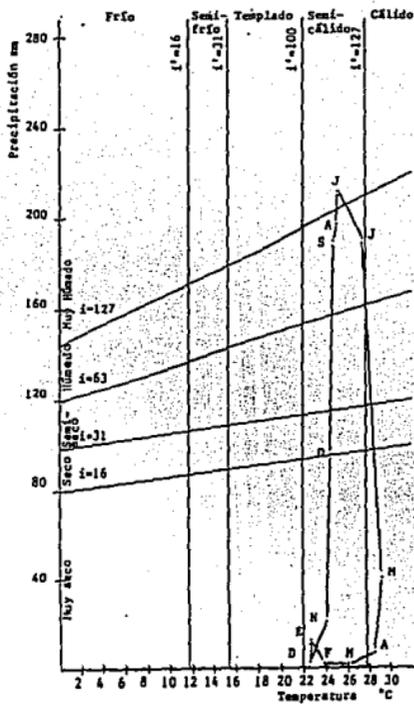
D) Eficiencia de la precipitación o precipitación efectiva

Para llegar a comprender los diversos grados de humedad que pueden existir en la cuenca, se tomó como base el índice i propuesto por Contreras (1937) (véanse Gráficas 1-10 y Anexo 1), que nos indica el rango de humedad. Así, tenemos que, para las estaciones ubicadas en la parte baja de la cuenca: Las Juntas, Acatitlán y Luvianos, dicho rango es semiseco (entre 31 y 63), mientras que en el resto de las estaciones, por encontrarse a mayor altitud, su índice se sitúa en el rango de húmedo (64 a 127), con excepción de la del Nevado de Toluca que se establece con el rango de muy húmedo (mayor de 128); lo anterior se debe a que en la parte baja los vientos superficiales llegan con menos humedad, y al ir ascendiendo provocan la condensación y precipitación de la lluvia en las partes media y alta de la cuenca.

Por lo anterior, la precipitación efectiva ocurre en los meses de junio a septiembre, cuando se presentan las mayores precipitaciones, a pesar de que la temperatura y la evapotranspiración son mayores. Ahora bien, esta precipitación efectiva se prolonga hasta octubre, en la parte alta de la cuenca, debido a que existe menor temperatura y evapotranspiración (véanse Gráficas 11-20).

Respecto a la eficiencia de la temperatura i' , tomando en cuenta los rangos modificados por Meza (1981), la parte baja de la cuenca es semicálida (101 a 127), la parte media es templada (31 a 100) y conforme se va ascendiendo va cambiando a semifrías (16 a 31), hasta encontrarse el rango frío (1 a 15) en la cima.

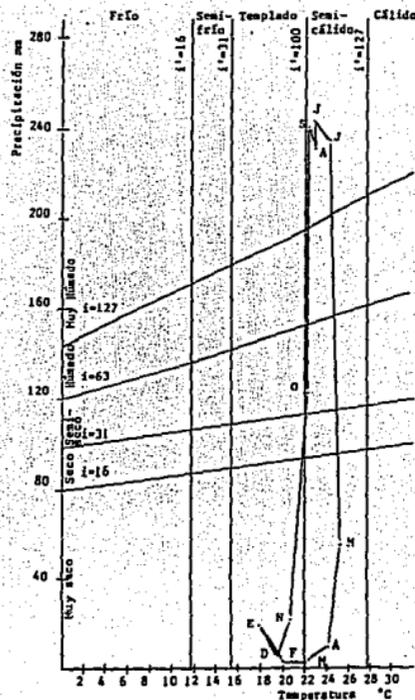
Climograma Las Juntas, Edo. de Méx.



i = Índice de precipitación efectiva
 i' = Índice de temperatura efectiva

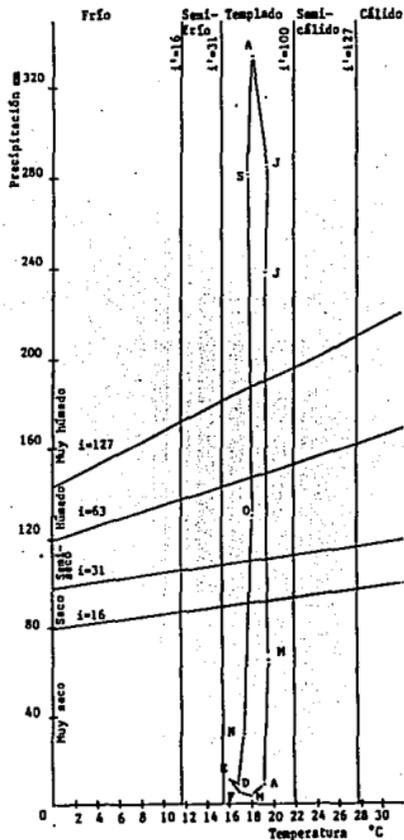
GRAFICA No. 1

Climograma Lovianos, Edo. de Méx.



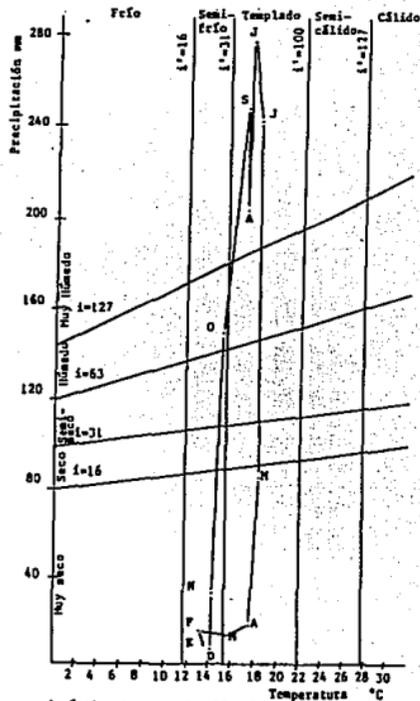
i = Índice de precipitación efectiva
 i' = Índice de temperatura efectiva

GRAFICA No. 2



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

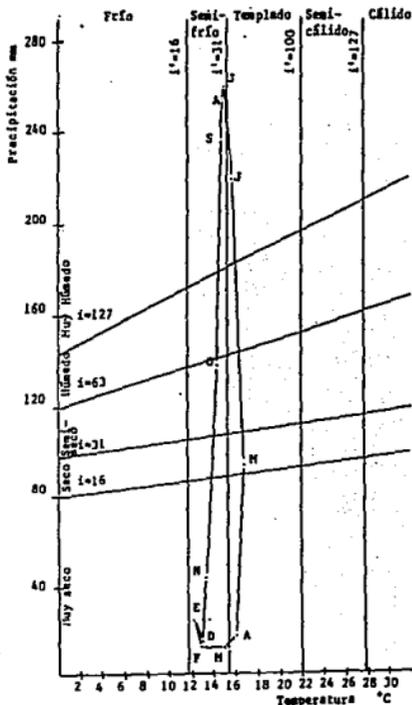
GRAFICA No.5



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

GRAFICA No.6

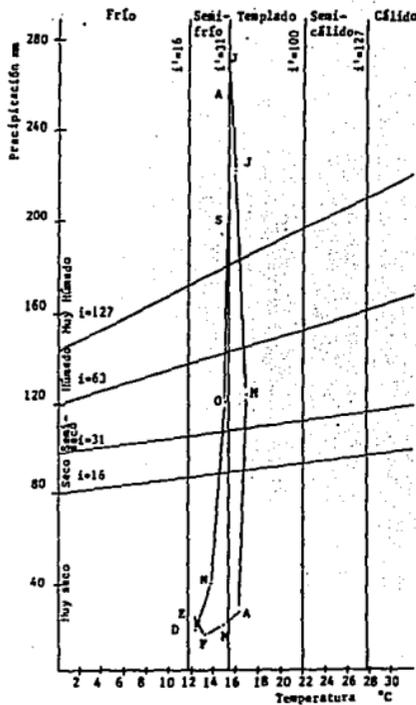
Climograma Tequesquién, Edo. de Méx.



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

GRAFICA No. 7

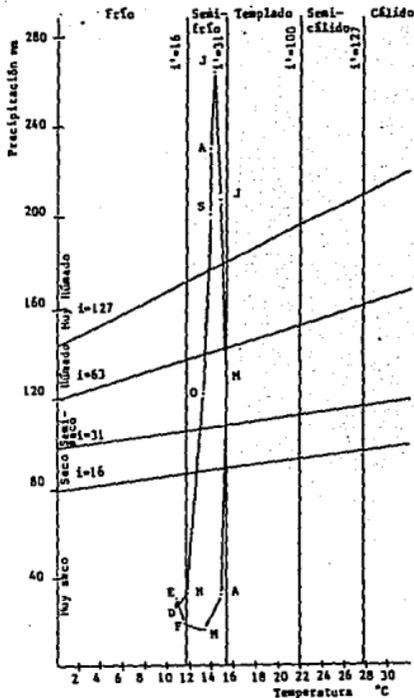
Climograma La Comunidad, Edo. de Méx.



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

GRAFICA No. 8

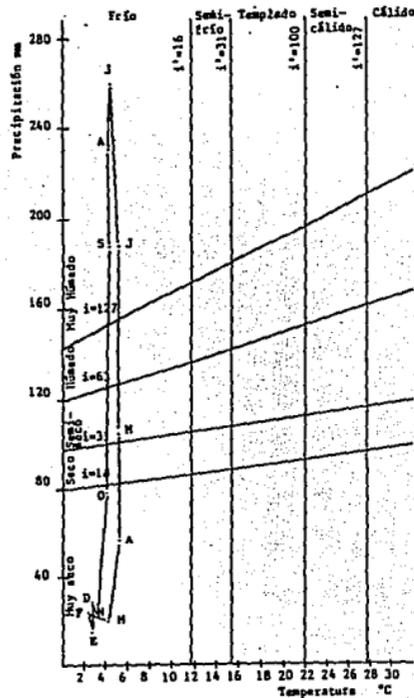
Climograma San Fco. Ostotlipan, Edo. de Méx.



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

GRAFICA No. 9

Climograma Nevado de Toluca, Edo. de Méx.



i = índice de precipitación efectiva
 i' = índice de temperatura efectiva

GRAFICA No. 10

III.3.3 MESOCLIMA

Las variaciones altitudinales del relieve ocasionan modificaciones en la circulación general y establecen los vientos locales, que generan cambios en el gradiente térmico y el poder evaporante de la humedad. Tales circunstancias, aunadas a las características edáficas, influyen en forma determinante en el desarrollo de las morfoestructuras vegetales, condicionando, finalmente, el establecimiento de las comunidades vegetales.

Por lo anterior se considera que los tipos macroclimáticos son inadecuados para la zona en estudio, pues el factor topográfico impone un desnivel altimétrico, entre la cota más baja y la mayor, superior a los 3 500 metros. En esta circunstancia, mediante la integración funcional de la temperatura, precipitación, evapotranspiración, el suelo y la vegetación, se infirió el dominio de cinco zonas mesoclimáticas: IA cálida subhúmeda, IIB semicálida húmeda, IIIB templada húmeda, IVB semifría húmeda y VA fría subhúmeda, las cuales, a diferencia de los tipos climáticos de García (1988), presentan intervalos térmicos, de humedad y evapotranspiración, acordes con los elementos ambientales del área en estudio, considerándolas, por tanto, de mayor precisión para el objetivo de este trabajo (véanse la Tabla 1, mapa de Zonas mesoclimáticas y Anexo 1).

A) Zona mesoclimática IA, cálida subhúmeda

Esta zona abarca casi todo el sector oeste de la cuenca; por abajo de los 1 200 msnm, la temperatura media promedio es mayor de 22°C, las precipitaciones se encuentran entre 900 y 1 200 mm y la ETP entre 1 100 y 1 300 mm. Esta última supera,

TABLA I

IONIFICACION MESOCLIMATICA DE LA CUENCA
DEL RIO TENASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO

T (°C)	ALTITUD (asnm)	PISO TERMICO	P (mm)	ETP (mm)	PISO DE HUMEDAD	ZONA MESOCLIMATICA
> 22	< 1200	I CALIDO	900-1200	1100-1300	A SUBHUMEDO	I A CALIDA SUBHUMEDA
18-22	1200-1800	II SEMICALIDO	1200-1400	800-1100	B HUMEDO	II B SEMICALIDA HUMEDA
14-18	1800-2500	III TEMPLADO	1200-1400	700-800	B HUMEDO	III B TEMPLADA HUMEDA
9-14	2500-3500	IV SEMIFRIDO	1200-1400	600-700	B HUMEDO	IV B SEMIFRIA HUMEDA
< 9	> 3500	V FRIO	1200-1400	< 600	A SUBHUMEDO	V A FRIA SUBHUMEDA

T = Temperatura media anual

P = Precipitación anual en mm (isoyetas)

ETP = Evapotranspiración potencia en mm (isolíneas)

aproximadamente en una quinta parte, el límite inferior del volumen de precipitación, lo cual contribuye a su característica subhúmeda (véanse Gráficas 11, 12 y 13). En esta zona penetran los vientos del oeste, que se elevan originando precipitaciones de tipo convectivo.

Debido a la marcha de la temperatura y la precipitación, la mayoría de las especies vegetales pierden sus hojas en la estación seca, por lo que la vegetación dominante en esta unidad es la selva baja caducifolia

B) Zona mesoclimática IIB, semicálida húmeda

En su mayor parte ocupa la parte centro sur de la cuenca, entre los 1 200 y 1 800 msnm, desnivel de 600 metros que incluye montañas medias con laderas fuertes, y valles fluviales, imprimiendo al terreno un amplio rango de pendientes (3° a 22°). En esta zona los vientos del oeste, al ir ascendiendo, descargan poca humedad o se encajonan en el estrecho valle del río Temascaltepec. Tales circunstancias favorecen temperaturas entre 18 y 22°C, con precipitaciones que oscilan entre los 1 200 y 1 400 mm, y valores de ETP entre 800 y 1 100 mm anuales.

Debido a la disminución de temperatura y al aumento de precipitación, la ETP es menor, lo que trae consigo una mayor humedad. Por otra parte, la estación lluviosa abarca 4 meses (junio-septiembre) muy húmedos, lo que favorece el que se pueda almacenar agua para la temporada seca, y no exista una demanda excesiva de agua (véase Gráfica 14). Estas condiciones permiten el establecimiento de una vegetación con mayores requerimientos de humedad, como es, en este caso, el bosque de pino-encino.

C) Zona mesoclimática IIIB, templada húmeda

Esta se localiza, en su mayor parte, en la porción centro norte de la cuenca, ocupa una franja altitudinal entre los 1 800 y 2 500 msnm; está constituida principalmente por montañas medias con pendientes de moderadas a fuertes (6° a 11°) y valles fluviales amplios o estrechos. En esta unidad los vientos del oeste encuentran limitantes topográficas, por lo que se forman varias zonas de condensación. Dentro de este intervalo se presentan temperaturas entre 14 a 18°C, precipitaciones entre 1 200 y 1 400 mm, y la ETP alrededor de 700 a 800 mm anuales.

En esta unidad la precipitación se mantiene igual que el mesoclima B semicálido húmedo, sin embargo, la temperatura disminuye ocasionando menor evapotranspiración (véanse Gráficas 15, 16 y 17) por lo que la vegetación dominante es pino-encino.

En esta zona hay varias cañadas profundas que forman los ríos Verde, La Comunidad y El Vado, en donde hay alta humedad que propicia que se desarrolle otro tipo de vegetación, el bosque caducifolio.

D) Zona mesoclimática IVB, semifría húmeda

La penúltima zona se ubica en la porción este de la cuenca entre los 2 500 y 3 500 msnm; corresponde a macizos montañosos con laderas de pendientes moderadas a fuertes (6° a 22°) y valles fluviales. En esta zona el viento frío, que viene del norte, penetra formando un corredor hacia el sur. En este ámbito dominan temperaturas bajas entre 9 y 14°C, la precipitación fluctúa entre los 1 200 y 1 400 mm, y la ETP es de 600 a 700 mm anuales.

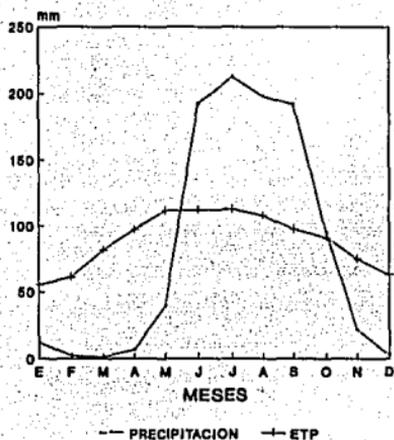
Debido a la disminución de temperatura se genera una ETP muy baja, lo que permite que la humedad se conserve por más tiempo, incluso en los meses secos. Esto trae como consecuencia el establecimiento del bosque de pinos en dos subunidades: los pinos que se distribuyen preferentemente en la porción oeste, que es ligeramente menos fría, y los oyameles, en la sección este, que tiende a ser un poco más fría.

E) Zona mesoclimática VA, fría subhúmeda

La última unidad se localiza en el extremo este, restringida al piso superior, mayor a 3 500 msnm, que forma parte de las laderas occidentales del volcán Nevado de Toluca, cuya pendiente es moderada (6°-11°). En esta unidad confluyen los vientos del norte, sur y oeste. En estas condiciones se registran temperaturas menores a 9°C, la precipitación se encuentra entre los 900 y 1 200 mm, y el valor de la ETP fluctúa alrededor de los 500 mm.

En esta unidad las bajas temperaturas mantienen valores bajos de evapotranspiración, favoreciendo el que ningún mes presente déficit de humedad, a excepción de enero (véase Gráfica 20). En estas condiciones el factor limitante para el establecimiento de la vegetación es la altitud, logrando existir, sólo hasta antes de los 4 000, el bosque de Pinus hartwegii, rebasando el límite arbóreo, y hasta los 4 300 msnm, se desarrolla la comunidad que soporta las más bajas temperaturas, que es la denominada vegetación de páramo de altura, compuesta por zacates amacollados, representados por Calamagrostis tolucensis, Draba nivicola y Festuca tolucensis, entre otras.

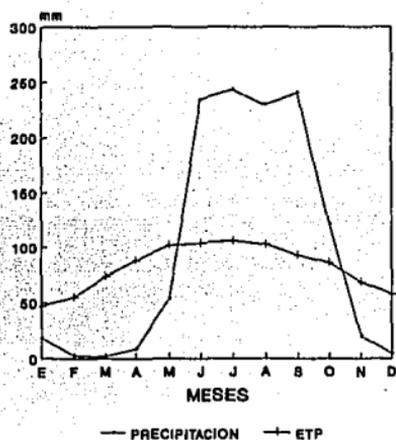
LAS JUNTAS
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 11

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

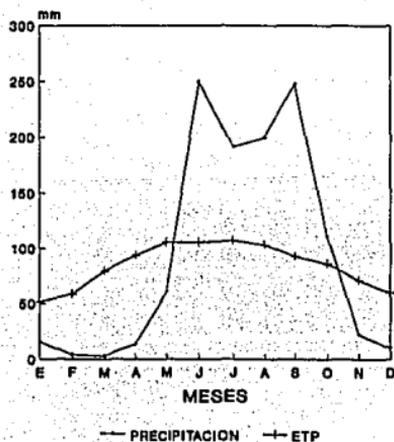
LUVIANOS
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 12

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

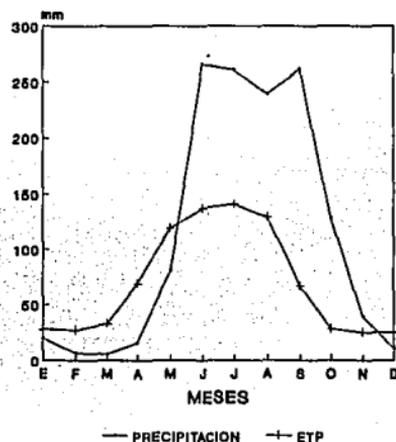
ACATITLAN
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 13

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

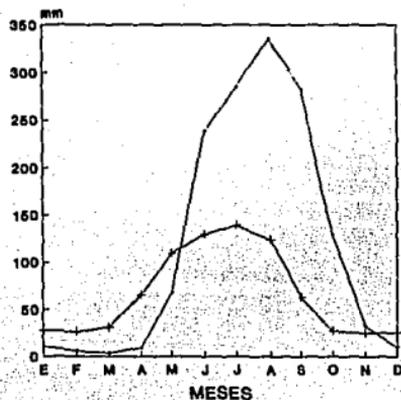
PASO DEL COBRE
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 14

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

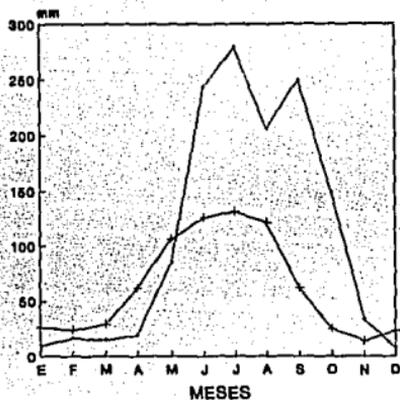
TEMASCALTEPEC
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No.15

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

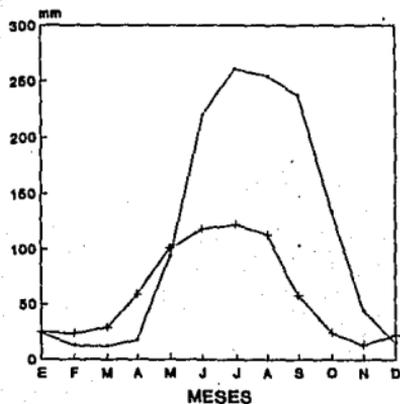
REAL DE ARRIBA
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No.16

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

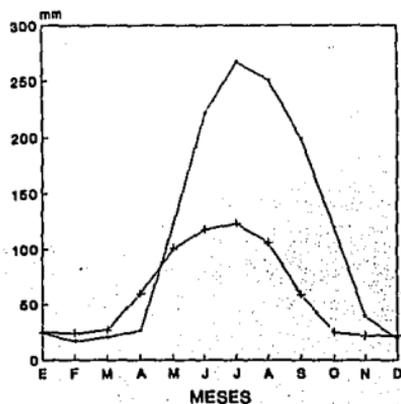
TEQUESQUIPAN
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No.17

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

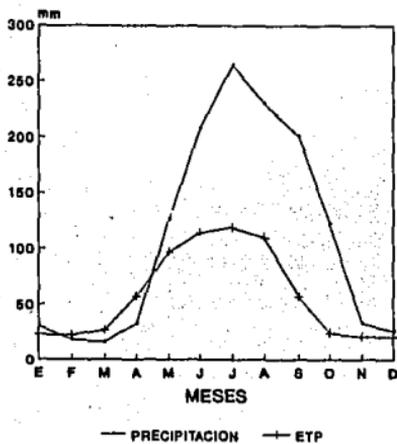
LA COMUNIDAD
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No.18

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

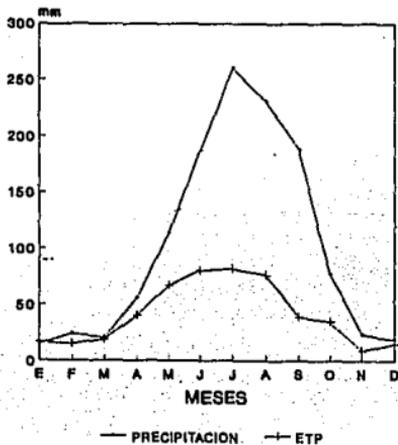
SAN FCO. OXTOTILPAN
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 19

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

NEVADO DE TOLUCA
PRECIPITACION-EVAPOTRANSPIRACION



GRAFICA No. 20

(METODO DE BLANEY Y CRIDDLE)

III.4 HIDROGRAFIA

La cuenca en estudio, según la SRH, corresponde a la región hidrológica No. 18, y cubre una superficie de 1224.9 Km². El río Temascaltepec, que representa la corriente principal de escurrimiento, atraviesa el área con dirección noreste-suroeste, habiéndose iniciado en la cima del volcán Nevado de Toluca, en los picos más prominentes, el Fraile y el Aguila, que alcanzan altitudes de 4 545 y 4 495 msnm, respectivamente, y desciende hasta los 800 msnm, antes de la Planta Hidroeléctrica de Tingambato, Mich., donde se une con el Tilostoc. Este último, afluente del río Cutzamala, se incorpora al río Balsas, que es el colector general de la región hidrológica No.18.

El río Temascaltepec se origina en los escurrimientos que descienden de las faldas noroccidentales del volcán Nevado de Toluca desde una elevación de 4 500 msnm, con el nombre de río Verde, que corre inicialmente con rumbo noroeste hasta las inmediaciones del pequeño poblado de Peñuela, Méx., en donde recibe aportaciones de los escurrimientos que descienden del cerro La Calera; a partir de este punto cambia de rumbo en forma paulatina, hacia el suroeste, pasando entre las poblaciones de San Miguel Oxtotilpan, San Mateo Almoloya, y La Comunidad, Méx.

Más adelante sus aguas eran aprovechadas en la planta hidroeléctrica Río Verde (actualmente suspendida) y posteriormente penetra a un cañón muy profundo, hasta llegar al poblado de Temascaltepec de González, Méx., en donde recibe por la margen izquierda al río El Vado y por la margen derecha al arroyo Telpintla, conociéndose a partir dicha población como río

Temascaltepec.

Después de estas confluencias corrige su rumbo hacia el oeste. Con esta dirección recorre unos 15 Km, tras lo cual empieza a describir una amplia curva cuyo trazo final es con dirección noroeste, hasta llegar a la planta hidroeléctrica Tingambato, Mich., en donde confluye con el río Tilostoc. A lo largo de este tramo el río Temascaltepec recibe, por la margen izquierda, a las corrientes: arroyo El Chilero, río de La Mina de Fierro, arroyo El Chiquito, río Los Sabinos y río El Jaconal; por la margen derecha, a los arroyos: Los Quelites, El Castilla, Las Anonas, La Laja, El Campanario, Zacazonapan, Agua Zarca, San Miguel y Los Pinzanes (véase mapa de Hidrografía).

Dentro de la cuenca en estudio se han instalado 6 estaciones hidrométricas, de las cuales solamente 2 se encuentran actualmente en operación (véase mapa de Hidrografía).

La estación de aforos A-12 La Comunidad se localiza sobre el río Verde, cerca del poblado de la Comunidad, 200 m aguas arriba de la confluencia del arroyo San Mateo, que tiene registros desde enero de 1959.

La estación de aforos río Verde se encuentra sobre el río Verde, en la barranca de Santa Ana, 200 m aguas abajo de la planta hidroeléctrica del mismo nombre, disponiendo de registros de julio de 1941 hasta mayo de 1959, fecha en que se suspendió la estación.

La estación de aforos A-11, Real de Arriba, se localiza sobre el río El Vado, en las inmediaciones del poblado Real de Arriba. Cuenta con registros desde abril de 1958

La estación Paso del Cobre se encontraba sobre el río Temascaltepec, a 800 m aguas arriba de la ranchería Sta. María Zacazonapan. Sus registros se llevaron a cabo en el periodo que comprende de junio de 1951 a octubre de 1967

La estación hidrométrica Paso del Guayabo se encontraba situada sobre el arroyo Los Sabinos, aguas arriba de la confluencia al río Temascaltepec. Los registros se efectuaron desde julio de 1955 hasta diciembre de 1967.

La estación Paso del Rayán se encontraba situada sobre el río Temascaltepec, a tres kilómetros aguas abajo de la confluencia del arroyo Los Sabinos. Los registros se efectuaron dentro del periodo de septiembre de 1951 a noviembre de 1967.

El río Temascaltepec registra, en la estación Paso del Rayán, un volumen medio anual de 354.6 millones de m³, con un flujo medio de 11.2 m³/seg. A continuación se presenta un resumen de los registros hidrométricos de las estaciones que se encuentran en la cuenca.

CUADRO 1

RESUMEN DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO

Nombre	Volumen Medio Anual (millones m3)	Gasto (m3/seg)			Registro, periodo años
		Máx.	Med.	Min.	
La Comunidad	54.2	45.8	1.72	0.43	1959-1970
Río Verde	57.3	150.3	1.82	0.43	1941-1959
Real de Arriba	70.9	98.2	2.18	0.37	1958-1970
Paso del Cobre	281.0	473.0	8.91	1.38	1951-1967
Paso del Guayabo	52.1	344.0	1.65	0.00	1955-1967
Paso del Rayán	354.6	512.0	11.2	1.80	1951-1967

Fuente: SARH. 1971. Boletín Hidrológico No.49. Región Hidrológica Núm. 18 (parcial), Cuenca del Medio y Bajo Balsas. Tomo III Datos Hidrométricos de Corrientes de Materiales de Acarreo en Suspensión e Hidrométricos de Vasos. México, D.F.

III.5 SUELOS

Dadas las características altitudinales de la zona en estudio, existe una gradación de los suelos que se ve influenciada por las características litológicas de los materiales que les han dado origen y por los procesos geocodinámicos que han modelado el paisaje actual.

En la región oriental de la cuenca se presentan suelos residuales y de desarrollo incipiente. Por arriba de los 4 000 msnm, en las laderas abruptas del Nevado de Toluca, predominan también suelos de poco desarrollo pedogenético, clasificados como regosoles y litosoles; de ahí, hasta los 2 800 msnm, se encuentran suelos jóvenes más evolucionados, clasificados dentro del grupo andosoles. Por abajo de esta unidad en terrenos con pendientes moderadas y ligeras, se presentan asociaciones de andosoles y cambisoles, éstos últimos, como su nombre lo indica, son suelos que por degradación o también por generarse de materiales muy recientes presentan un horizonte B cámbico; los andosoles también se asocian con feozems, que son suelos todavía más desarrollados.

En la parte media de la cuenca se presentan suelos sobre rocas basálticas cuaternarias, cuyas condiciones topográficas y climáticas han permitido el desarrollado de cambisoles y acrisoles. Sobre rocas de esquistos se han formado luvisoles, suelos con una gran acumulación de arcilla, y una capa superficial oscura, rica en materia orgánica, que refleja un mayor grado de desarrollo. Los acrisoles se identifican en los lomeríos de color rojizo, de la parte central de la cuenca. En

algunas partes deprimidas de ella se dan acumulaciones de arcilla, como producto del arrastre erosivo, que han generado la formación de suelos vérticos asociados con los luvisoles y los feozems.

Dentro de la misma parte media de la cuenca se presentan elevaciones constituidas por materiales riolíticos terciarios que no fueron cubiertos por los derrames basálticos, y que, dadas sus condiciones topográficas y climáticas, han desarrollado cambisoles y andosoles. En las partes más escarpadas, con menor posibilidad de desarrollo, se encuentran regosoles y litosoles.

Cubriendo la región occidental se identifica una tercera unidad constituida por suelos desarrollados a partir de rocas mesozoicas representadas por esquistos, en las partes altas, y por metavolcánicas en las partes bajas, que han sufrido procesos de degradación, generando suelos delgados, a partir de luvisoles y acrisoles, tales como los regosoles y litosoles.

En los lomeríos del extremo noroccidental de la cuenca hay vestigios de los suelos desarrollados anteriormente en esta área, clasificados como luvisoles y cambisoles. En las laderas del parteaguas suroccidental se encuentran asociados litosoles, regosoles y cambisoles, y en la planicie se desarrollan regosoles asociados con feozems (véase mapa de suelos).

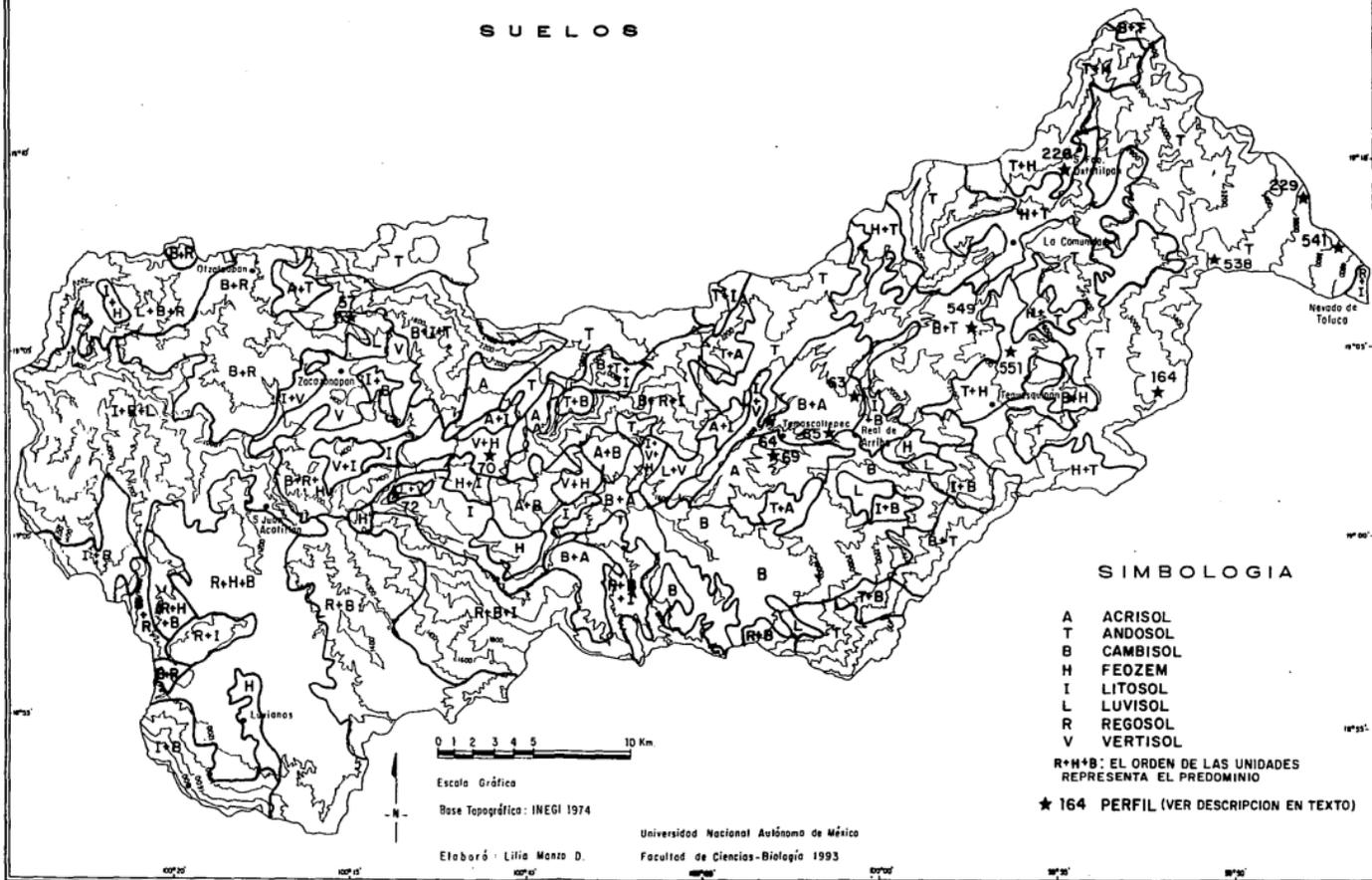
A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de suelos que predominan en la zona en estudio.

III.5.1 Andosol

Son suelos jóvenes, poco evolucionados, con perfil no diferenciado, que se forman a partir de cenizas volcánicas

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

SUELOS



SIMBOLOGIA

- A ACRISOL
- T ANDOSOL
- B CAMBISOL
- H FEOSOL
- I LITOSOL
- L LUVISOL
- R REGOSOL
- V VERTISOL

R+H+B: EL ORDEN DE LAS UNIDADES REPRESENTA EL PREDOMINIO

★ 164 PERFIL (VER DESCRIPCION EN TEXTO)

0 1 2 3 4 5 10 Km

Escala Gráfica

Base Topográfica: INEGI 1974

Elaboró: Lilia Manzo D.

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias-Biología 1993

(andesíticas) y clima muy húmedo, con bajas temperaturas y ETP baja. Presentan altos contenidos de materia orgánica humificada. El perfil típico es AC, Algunos perfiles representativos son: 541, 229, 538, 164, 226, 551 y 549 (véase Cuadro 2).

III.5.2 Cambisol

Suelos jóvenes poco evolucionados y estructurados, localizados en el piedemonte, formados por material de aporte procedente de la erosión de las partes altas. Presentan un perfil con horizonte ligeramente cámbico. Algunos ejemplos se exhiben en los perfiles 162 y 66 (véase Cuadro 2).

III.5.3 Feozem

Suelos jóvenes poco evolucionados y estructurados localizados en el piedemonte. Se desarrollan en zonas más húmedas y menos frías. Presentan un perfil con horizonte B poco desarrollado

III.5.4 Luvisol

Suelos evolucionados, localizados en un clima templado, con estacionalidad marcada. Presentan un horizonte argílico, bien desarrollado, resultante de la eluviación de arcillas del horizonte A. Algunos ejemplos se presentan en los perfiles 57 y 72 (véase Cuadro 2).

III.5.5 Acrisol

Suelos muy evolucionados, ácidos, caracterizados por la mineralización constante y lavado moderado de arcillas. Algunos ejemplos se presentan en los perfiles 63 y 69 (véase Cuadro 2)

III.5.6 Litosol

Son suelos someros, con un espesor menor de 10 cm, por lo

CUADRO 2
PERFILES REPRESENTATIVOS DE SUELOS DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEX.

No. de perfil	Altitud (asnm)	Unidad de Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	Textura (%) A L R	Clasificación	pH	M.O. (%)
541	3 800	Th	Ah	0-24		Ac	5.7	9.1
			Ah (B)	24-50		Ac	6.1	1.0
			C	50-1			6.4	
229	3 600	Th	A	0-60		Ca	5.6	19.3
			B	60-95		Ca	6.5	1.6
			C	95-1				
538	3 400	Th	De	0-130		Ca	5.4	29.7
			Ah	130-145		Ac	5.9	11.1
			C	145-1				
164	3 000	Th	Ah	0-43		Ca	5.5	13.6
			Ah B	43-83		Ca	6.2	6.7
			B	83-91		Cr	6.3	4.3
			C	91-1				
226	2 800	Th	Ah	0-45		C	6.5	15.0
			11 Ah	45-117		Cl	7.2	5.2
			111 AhB	117-164		Cl	7.0	5.0
			111 (B)	164-1		Ca	6.9	1.2
551	2 600	Th	Ah1	0-53		Ca	6.2	9.0
			(B)	53-70		Ca	6.6	3.0
			C	70-1				
549	2 400	Th	Ah	0-30		Cl		9.1
			Ah B	30-122		Cl		4.7
			B	122-1		Cl		0.3
162	2 200	Be	A1	0-22		M	5.5	-
			Bt1	22-87		Mr	5.3	0.6
			Bt2	87-1		Mr	5.7	-
66	2 000	Bd	A	0-7	26 28 46	Mra	5.6	3.8
			B1	7-26	38 28 34	Mr	5.4	1.7
			B2	26-88	36 28 38	Mr	5.4	0.1
				> 100				
63	2 000	Ao	A	0-8	24 36 40	C	6.1	12.9
			B21t	8-24	28 40 32	Mr	6.1	10.3
			B22t	24-60	66 14 20	R	5.7	1.0
				> 100				
69	1 800	Ao	A	0-9	26 48 26	C	6.8	6.4
			B21	9-36	36 42 22	Mr	6.0	1.8
			B22t	36-60	38 32 30	Mr	6.1	0.3
				> 100				
64	1 800	Be	A	0-7	16 30 54	Mr	5.7	5.1
			B	7-44	22 54 24	C	5.9	1.0
70	1 700	Vc	A	0-30	54 20 26	R	5.9	0.9
				> 100				
57	1 600	L	A	0-13	26 32 42	C	5.8	4.5
			Bt	13-50	36 28 36	Mr	5.9	1.8
				> 100				
72	1 400	Lc	A	0-10	32 26 42	Mr	6.0	4.7
			B21t	10-40	56 20 24	R	6.5	1.7
				> 100				

FUENTE:- CARTAS EDAFICAS E-14-45,46,47,55,56 y 57 ESCALA 1:50 000 INEGI

- GRAJALES, S.W. y VARGAS, J. 1986. CARTOGRAFIA Y GENESIS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DEL AREA DE INFLUENCIA DEL NEVADO DE TOLUCA. TESIS INGENIERO AGRONOMO. UACH, MEXICO.

que no presentan horizontes pedogenéticos; se encuentran asociados a misceláneos rocosos. Se les localiza en las partes altas de las montañas y sobre pendientes abruptas.

III.5.7 Regosol

Son suelos someros (menores de 40 cm de espesor) limitados por regolita. Presentan un horizonte A/C transicional. Se encuentran en las partes altas de montañas con pendientes abruptas.

III.5.8 Vertisol

Son suelos profundos (más de 100 cm de espesor), arcillosos, que se agrietan una o dos veces al año. Están representados por un perfil A/C; como ejemplo de éstos se puede observar el perfil 70 (véase Cuadro 2).

III.6 DESCRIPCION DE LA VEGETACION Y PONDERACION DE SU COBERTURA

La influencia climática regional define en la cuenca del río Temascaltepec tres tipos climáticos, cálido, templado y frío, los cuales determinan la presencia de tres biotipos principales: las selvas en el cálido, los bosques de pino encino en el templado, y de pino en el frío.

Además de la influencia climática zonal, la variación altitudinal del relieve, la exposición y la circulación de vientos locales producen condiciones que diferencian cinco zonas mesoclimáticas: IA, cálida subhúmeda; IIB, semicálida húmeda; IIIB, templada húmeda; IV, semifría húmeda, y VA, fría subhúmeda, las cuales influyen en la modificación de la distribución, estructura y composición de los biotipos de la vegetación.

Considerando lo anterior, y siguiendo la clasificación de Miranda, (1963), se definieron, por fotointerpretación, para la cuenca, los siguientes tipos de vegetación: selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque mixto de pino-encino, bosque caducifolio, bosque de pinos, bosque de oyamel y vegetación de páramos de altura.

Tal como se estableció en la hipótesis de este trabajo, la cobertura vegetal de las comunidades naturales juega un papel importante en la hidrodinámica de la cuenca, ya que funciona como una pantalla de protección que amortigua la energía cinética de la lluvia y, con ello, sirve de control de la erosión del suelo. Esto depende de características de la vegetación tales como: la

estructura, forma y permanencia del follaje, tipo de ramificación, y la densidad de los elementos vegetales. Dichas características determinan, en conjunto, "la eficacia de la cobertura vegetal" para controlar la "eficiencia energética", o el poder erosivo de la precipitación.

La evaluación de la cobertura vegetal fue definida por fotointerpretación, mediante la selección aleatoria de rodales de 1 km², subdivididos en cuadrantes de 1 Ha, en los cuales se tipificaron tres clases de cobertura: cerrada, semicerrada y abierta. Dichos valores, corroborados en el trabajo de campo, se describen a continuación:

CUADRO 3
CLASES DE COBERTURA VEGETAL

CLASE	% DE COBERTURA VEGETAL	DESCRIPCION
CERRADA	> 75	MENOS DE 25 % DE ESPACIOS CON CLAROS
SEMICERRADA	50 - 75	DE 25 A 50 % DE ESPACIOS CON CLAROS
ABIERTA	< 50	MAS DE 50 % DE ESPACIOS CON CLAROS

Durante el trabajo de campo se observó que las áreas sujetas a cultivos perennes y anuales inducen patrones de cobertura que alteran significativamente los valores establecidos para los rodales de vegetación natural. Sin embargo, para poder establecer una definición espacial, en términos de las coberturas indicadas, se decidió incorporar las áreas de cultivo en la clase abierta, es decir, con más de 50 % del espacio con claros.

Cuantificada en esta forma la cobertura vegetal, se pudo asumir un valor constante para cada tipo de vegetación, que se tomó como referencia para determinar, posteriormente, la capacidad de amortiguamiento para controlar la energía de la precipitación.

A continuación se describen algunos aspectos fisonómicos, estructurales, y el valor de densidad de cobertura que se asignó a cada tipo de vegetación (Véase Mapa de Vegetación y Uso del Suelo).

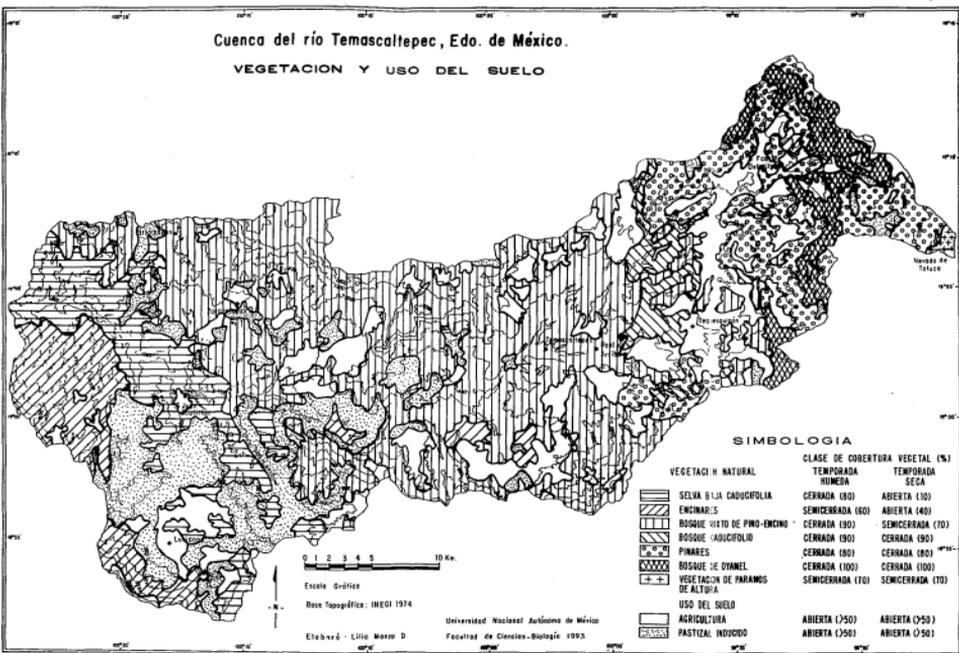
III.6.1 Selva baja caducifolia

Esta comunidad se desarrolla en la parte baja de la cuenca, en altitudes inferiores a los 1 400 msnm localizadas al noroeste de San Juan Acatitlán. Esta se corresponde en el un mesoclima IA, cálido subhúmedo (véase Mapa de Mesoclimas y Climogramas 3 y 13), que presenta un periodo húmedo de junio a octubre (5 meses) en el que los meses de mayor precipitación son junio y septiembre; durante todo el año las demandas de evapotranspiración, muy altas, sólo se satisfacen completamente en la temporada lluviosa, por lo que, en cuanto se termina este periodo, se presenta un marcado déficit de humedad que abarca de noviembre a mayo (7 meses). Tales condiciones impiden que el suelo retenga suficiente humedad, provocando que desde el inicio de la época de sequía pierda humedad rápidamente; estas circunstancias limitan el desarrollo de los elementos vegetales, manifestándose la eliminación del follaje en un 100 %.

La estacionalidad marcada entre el periodo húmedo y seco, junto con las altas demandas de evapotranspiración, determinan el

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

VEGETACION Y USO DEL SUELO



establecimiento de la selva baja caducifolia, que se caracteriza por presentar una fisonomía estacional contrastante que varía de acuerdo con los cambios de humedad. Esta comunidad, en la época lluviosa registra una cobertura cerrada (80 %), con un estrato arbóreo entre 6 y 8 metros de altura, cuyos elementos forman copas convexas o planas constituyendo un techo uniforme, La pérdida del follaje en la temporada seca reduce significativamente la cobertura vegetal, ubicándola en la clase abierta (10%); también presenta un estrato arbustivo y otro herbáceo.

La ausencia del follaje, en la temporada de sequía deja el suelo al descubierto, de manera que a fines de mayo, cuando se presentan las primeras lluvias, por ser de tipo convectivo, descargan un alto valor energético que ocasiona alto poder erosivo; hecho que repercute en la dinámica hídrica de la cuenca. Conforme el periodo de humedad avanza, los elementos vegetales recuperan totalmente su follaje, logrando amortiguar eficientemente la precipitación del resto de la temporada.

En el estrato arbóreo se encuentran los siguientes especies: Bursera excelsa, B. fagaroides, Pseudosmodingium perniciosum, Amphipterygium adstringens, Lysiloma sp., Haematoxylon brasiletto, Leucaena sp., Pithecellobium dulce, Ipomoea wolcottiana, Crescentia alata y Carica mexicana.

En el estrato arbustivo: Rhus sp., Acacia cymbispina, A. pennatula, Bauhinia sp., Thevetia thevetioides y Byrsonima crassifolia.

En el estrato herbáceo: Salvia polystachya, Croton sp.,

Opuntia sp., Bouteloua filiformis, Aristida sp., Dalea sp.,
Asterohyptis sp., Paspalum notatum y Lantana camara.

III.6.2 Encinares

Este tipo de vegetación se extiende en la parte baja de la cuenca, por arriba de los 1 200 msnm, en las elevaciones que constituyen las estribaciones de la Sierra Nanchititla, ubicadas al sur de Luvianos y al oeste de San Juan Acatitlán. Se encuentra bajo la influencia de un mesoclima IA, cálido subhúmedo (véase Mapa de Mesoclimas y Climogramas 1, 2, 12, y 13), que presenta un periodo húmedo de junio a octubre (5 meses), en el que julio o septiembre son los meses de mayor precipitación; en este lapso no hay déficit de evapotranspiración, sin embargo, el suelo no retiene suficiente humedad, por lo que desde noviembre, en cuanto se inicia la temporada seca, se presenta una marcada insuficiencia de humedad que se prolonga hasta mayo (7 meses).

El encinar, en la temporada húmeda, es una comunidad semicerrada (60 %) compuesta por un estrato arbóreo semiperennifolio, con alturas entre 10 y 18 metros, un arbustivo y un herbáceo. La reducción del follaje en la temporada seca ocasiona que la cobertura se establezca en una clase abierta (40 %) lo que da lugar a la disminución de la protección del suelo, porque en mayo, cuando se presentan las primeras lluvias, por ser de tipo convectivo, actúan con un alto poder erosivo que se mantiene durante los meses de junio y julio. Con forme el periodo de humedad avanza, los elementos vegetales renuevan su follaje, incrementando la cobertura, y, por tanto, logran amortiguar eficientemente la energía pluvial el resto de la temporada

(agosto y septiembre).

En el estrato arbóreo domina Quercus macrophylla, Q. laurina y Q. glaucophylla junto con Arbutus xalapensis y Clethra mexicana. En el estrato arbustivo destacan Calliandra anomala, Erythrina sp., Ipomoea murucoides, Cordia sp. y Lonchocarpus sp.. En el estrato herbáceo se pueden encontrar Calliandra anomala, Opuntia sp., Cassia sp., Bouteloua curtispindula, Salvia sp., Lupinus sp., Adiantum sp., Oxalis sp. y Polypodium sp..

III.6.3 Bosque mixto de pino-encino

En la clasificación propuesta por Miranda (1963) no se reconoce a este bosque como tal, sino más bien se considera la existencia de dos comunidades independientes; sin embargo, se consideró apropiado separarla, por la fisonomía y estructura que presentan y por ser la más extensa del área, ya que abarca toda la parte media de la cuenca, entre 1 200 y 2 600 msnm.

Esta comunidad se establece bajo la influencia de dos mesoclimas: el II B, semicálido húmedo, en la porción sur, y el III B, templado húmedo, en el norte (véase Mapa de Mesoclimas y Gráficas correspondientes). Ambas condiciones presentan un periodo húmedo de junio a noviembre (6 meses), siendo julio el mes de mayor precipitación, y otro periodo de sequía que se inicia en diciembre y se prolonga hasta mayo (6 meses). Durante todo el año las demandas de evapotranspiración alcanzan los mayores valores, que se cubren satisfactoriamente en la temporada húmeda permitiendo que parte de la humedad se retenga en el suelo, lo que representa un almacén para cubrir las demandas de evapotranspiración en la temporada seca.

Tales condiciones contribuyen a evitar una marcada estacionalidad entre las épocas de sequía y humedad, creando condiciones favorables para el establecimiento del bosque mixto de pino-encino; sin embargo, las diferencias mesoclimáticas de temperatura determinan que en la porción sur, por ser cálida, los encinos dominen sobre los pinos, en tanto que en la parte norte, por ser templada, dominen los pinos sobre los encinos.

La estacionalidad entre la temperatura húmeda y seca no es tan marcada, por lo que esta comunidad mantiene una fisonomía casi permanente, a lo largo del año, logrando una cobertura semicerrada (70 %) compuesta por un estrato arbóreo semiperennifolio que varía entre 16 y 25 metros, uno arbustivo y uno herbáceo.

Dichas condiciones mantienen el suelo siempre protegido, de manera que desde mayo, cuando se presentan las primeras lluvias de tipo convectivo, aunque liberen gran eficiencia energética, ésta es amortiguada eficazmente por la pantalla vegetal. Tal situación prevalece durante toda la temporada lluviosa contribuyendo, finalmente, a una buena retención de humedad, baja erosión y restricción de la hidrodinámica de la cuenca.

En el estrato arbóreo se encuentran Pinus leiophylla, P. montezumae, P. oocarpa, Quercus macrophylla, Q. uruapanensis, Q. castanea, Q. acutifolia y Cornus dasyciflora.

En el estrato arbustivo se encuentran Carpinus coralineana, Arbutus xalapensis, Crataegus sp., Acacia pennatula, Calliandra anomala.

El estrato herbáceo es rico en gramíneas y algunas otras

anuales entre ellas se encuentra: Verbesina greenmani, Stevia sp., Aralia sp., Fuchsia thymifolia, Salvia sp., Pteridium sp. y Polypodium sp..

III.6.4 Bosque caducifolio

El bosque caducifolio se desarrolla entre los 2 000 y los 2 500 msnm, en lugares protegidos del viento e insolación, tales como las cañadas profundas, que forman los ríos Verde, La Comunidad y El Vado, en su confluencia para formar el río Temascaltepec. Este tipo de vegetación se corresponde en un mesoclima III B, templado húmedo (véanse climogramas 5 y 15); sin embargo, en estos sitios se conserva y concentra por más tiempo la humedad, por lo que muy probablemente domina un mesoclima templado muy húmedo, que presenta una temporada húmeda de junio a noviembre (6 meses), siendo agosto el mes más lluvioso. y otra seca, de diciembre a mayo (6 meses). Tales condiciones impiden que exista déficit de humedad durante todo el año.

Las circunstancias microclimáticas favorecen el desarrollo del bosque caducifolio, que es una comunidad cerrada (90-100 %), siempre verde, que incluye más de dos estratos arbóreos cuyos elementos oscilan entre 15 y 35 metros, algunos de los cuales cambian su follaje en la época fría del año; también se identifican uno o dos estratos arbustivos, uno rasante y uno herbáceo; este último no tiene gran desarrollo en los bosques conservados, pero en los claros suele ser exuberante y diversificado. Tales características protegen el suelo constantemente, por tanto, desde que se presentan las primeras

lluvias, la cobertura vegetal amortigua eficientemente la energía de la precipitación, por lo que la erosión y la hidrodinámica se reducen.

En los estratos arbóreo y arbustivo dominan especies de Pinus y Quercus. Los musgos cubren grandes cantidades de ramas, y entre los géneros más comunes cabe citar a Anomodon, Homalium y Papillaria, entre otros. En el estrato rasante se desarrollan numerosas especies de Lycopodium y Selaginella, siendo también frecuentes los hongos y líquenes (Rzedowski, 1978).

III.6.5 Pinares

Los pinares se extienden por arriba de los 2 500 msnm, cubriendo casi totalmente la parte alta de la cuenca. Estos se desarrollan en dos condiciones mesoclimáticas, la IV B, semifría húmeda, entre los 2 500 y los 3 500 msnm y la V A, semifría subhúmeda, por arriba de los 3 500 msnm (véase Mapa de Mesoclimas y Gráficas 8, 9, 18, 19 y 20); la primera de éstas presenta una estación húmeda de mayo a noviembre (7 meses) y una seca de diciembre a abril (5 meses); la siguiente presenta un intervalo de humedad más amplio que abarca de abril a noviembre (8 meses), siendo julio el mes más lluvioso. Para ambas condiciones mesoclimáticas, durante todo el año, se registran temperaturas con oscilación isotérmica, las cuales, asociadas a la abundante humedad, generan bajas demandas de evapotranspiración que aumentan ligeramente en junio, julio y agosto.

De la humedad que se recibe en la temporada lluviosa una parte se almacena en el suelo, dando oportunidad a un aprovechamiento continuo que coadyuva al mantenimiento de la

humedad ambiental durante todo el año.

Debido a las variaciones altitudinales y mesoclimáticas esta comunidad se divide en dos subunidades: un bosque de pinos, alrededor de los 3 000 msnm, y un bosque de Pinus hartwegii que se extiende aproximadamente hasta los 3 500. La diferencia entre ellos radica en la diversidad de elementos que se encuentran en el estrato arbóreo, ya que el bosque de pinos registra varias especies, en tanto que en el otro sólo domina un representante.

El bosque de pinos es una comunidad perennifolia que presenta una cobertura cerrada (80 %) compuesta por tres estratos: uno arbóreo, que oscila entre 20 y 35 metros, otro arbustivo y uno más, herbáceo. El bosque de Pinus hartwegii es una comunidad abierta (40 %) que presenta dos estratos: uno arbóreo que alcanza los 30 metros de altura y uno herbáceo.

A pesar de que presentan dos diferentes tipos de cobertura, ambas comunidades logran un eficiente amortiguamiento de la energía pluvial, lo que se debe, en gran parte, a que las lluvias que se reciben son de tipo orográfico, por tanto, de menor intensidad, así que generan menor impacto erosivo. La combinación de tales características repercute, finalmente, en una mayor retención de humedad y menor hidrodinámica de la parte alta de la cuenca.

El bosque de pino presenta un estrato arbustivo representado por Pinus ayacahuite, P. rudis y P. montezumae. En barrancos y laderas muy abruptas puede haber ecotonos con Abies religiosa, y en laderas con pendiente más suave, con Alnus acuminata. En el estrato arbustivo destacan Lupinus montanus, Penstemon sp.,

Senecio angulifolius y Senecio sp. En el estrato herbáceo dominan las gramíneas amacolladas tales como Festuca toluccensis, Calamagrostis toluccensis, Muhlenbergia affinis, M. sp. y M. dubioides (Sandoval, 1987).

El bosque de Pinus hartwegii, como se mencionó anteriormente, sólo presenta un elemento dominante en el estrato arbóreo; en el herbáceo abundan: Festuca toluccensis, Calamagrostis toluccensis, Muhlenbergia affinis, M. nigra y M. dubioides. (Sandoval, 1987)

III.6.6 Bosque de oyamel

Esta comunidad se distribuye entre los 3 000 y 3 500 msnm, en laderas con pendiente fuerte, bajo un mesoclima semifrío húmedo IV B, húmedo (véase Gráfica 9), el cual presenta una estación húmeda de mayo a noviembre (7 meses) y una seca, de diciembre a abril (5 meses). Durante todo el año se presentan bajas temperaturas con oscilación isotérmica, ocasionando bajas demandas de evapotranspiración que sólo se incrementan en junio, julio y agosto, lo que contribuye a que gran parte del volumen de precipitación se almacene en el suelo y pueda ser aprovechado durante todo el año.

En dichas condiciones, aunque la humedad es abundante, las bajas temperaturas, la altitud y las pendientes fuertes limitan el desarrollo de la vegetación, logrando sólo establecerse el bosque de oyamel, que se caracteriza por ser una comunidad con una cobertura cerrada (100 %) que incluye un estrato arbóreo que varía entre 20 y 40 metros de altura, y que crea condiciones de penumbra, a niveles inferiores, que limitan el desarrollo de los

estratos arbustivo y herbáceo. Dichas condiciones hacen que el suelo esté protegido, de tal manera que cuando se presentan las lluvias orográficas, características de estos lugares, generan un bajo poder energético amortiguado eficientemente por la cobertura vegetal.

En esta comunidad, *Abies religiosa* es el componente único del estrato arbóreo. En el estrato arbustivo destacan varias compuestas tales como *Senecio cinerarioides*, *Eupatorium petiolare* y *Cirsium* sp., en el estrato herbáceo pueden presentarse *Alchemilla hirsuta* y *Piqueria pilosa*, entre otras. En el estrato rasante los musgos y hongos basidiomicetos abundan durante la época de lluvias (Sandoval,1987).

III.6.7 Vegetación de páramos de altura

Esta comunidad, conocida también como zacatonal o pastizal alpino, se desarrolla por arriba de los 4 000 metros, en la ladera occidental del Nevado de Toluca, bajo la influencia del mesoclima V A, frío subhúmedo (véase Gráfica 10), presentando una época de humedad de mayo a octubre (6 meses), siendo julio el mes más lluvioso; sin embargo, debido a las bajas temperaturas que se registran durante todo el año, con oscilación isotérmica, se genera una baja demanda de evapotranspiración que sólo registra déficit en el mes de enero, por lo que esta zona se mantiene siempre húmeda.

Aunque en esta zona no existe un marcado déficit de humedad estacional, la baja temperatura y la altitud son las principales limitantes para el desarrollo de elementos arbóreos y arbustivos, por lo que sólo es posible la existencia de un estrato herbáceo

permanente, cuya disposición logra una cobertura semicerrada (70 %) que es capaz de controlar la baja energía pluvial que producen las lluvias orográficas.

Los elementos dominantes de esta comunidad son conocidos como zacates amacollados: Calamagrostis tolucensis, Draba nivicola, Festuca tolucensis, F. livida y Umbilicaria aff hirsuta (González, 1987).

IV ANALISIS MORFOMETRICO

El factor orográfico es determinante en la circulación de los vientos y, por tanto, en la distribución de la humedad y de las lluvias, originando, en consecuencia, un régimen subhúmedo con lluvias de tipo convectivo en la parte baja y húmedo con lluvias de tipo convectivo y orográfico en las parte media y alta de la cuenca.

Tal como se vio en el análisis mesoclimático, la distribución de humedad, en combinación con la temperatura, han determinado el establecimiento de 7 tipos de vegetación, cuya densidad de cobertura, ya sea cerrada, semicerrada o abierta, modifica la eficiencia energética de la precipitación, por lo que este factor influye en la formación y organización del escurrimiento sobre el terreno y, con ello, promueve la formación de los cauces fluviales y, finalmente, de la hidrodinámica de la cuenca.

El análisis morfométrico permite conocer, entonces, la forma en que se estructura la red de drenaje. Para ello, y siguiendo el Método de Strahler (1974) se estableció la jerarquización de los cauces fluviales, la delimitación de las subcuencas principales, y la densidad y la frecuencia de los cauces fluviales de primer orden.

Para comprobar la hipótesis planteada en este trabajo, la interpretación de los resultados de éstos parámetros se realizó tomando en cuenta los datos de precipitación (marcha anual y tipo de precipitación) y densidad de cobertura vegetal.

Para el análisis se parte de las relaciones de frecuencia y

densidad que muestra el Cuadro 4.

CUADRO 4

DESARROLLO DE LA RED FLUVIAL EN EL TIEMPO

TIEMPO	ORDEN DE CAUCES	FRECUENCIA DE CAUCES	DENSIDAD DE CAUCES	DESARROLLO DE LA RED FLUVIAL
menor	1	mayor	menor	En proceso de formación.
	2	mayor	menor	Desarrollo inicial
	3	mayor	mayor	Intermedio
mayor	4	mayor	mayor	Estabilizada

Así, se consideró que los valores de densidad de primer orden reflejan el grado de desarrollo e intensidad del escurrimiento, por lo que una red fluvial que inicia su proceso de formación presenta valores altos de frecuencia y densidad de cauces (2.4-3.0 Km/Km² o 14-20 cauces/Km²); la que está en desarrollo semiestabilizado registra valores medios (1.8-2.4 Km/Km² o 7-13 cauces/Km²); en tanto que cuando se ha alcanzado cierta estabilidad los valores son bajos.

En el Cuadro 4 se considera que en tiempo y espacio la frecuencia de cauces indica el grado de organización que tienen; visto de otra manera, una baja organización de la red fluvial se identifica cuando las frecuencias de cauces de orden 1 son las que alcanzan los mayores valores, en tanto que una mejor organización se reconoce cuando las frecuencias de mayor jerarquía son las que presentan los valores más altos.

En este caso, los cauces de primer orden son los últimos que se han formado e integrado a la red fluvial, por tanto es posible

considerarlos como un reflejo de la velocidad con la que se realiza el proceso de erosión hídrica.

Tomando como base lo anterior se establece que una red de drenaje, en la medida que tenga mayor tiempo de evolución presentará valores bajos de frecuencia de cauces de orden 1 y, por tanto, reflejará mayor estabilidad; en sentido inverso se comportará la densidad, cuyos valores bajos indican una red incipiente y los altos una de mayor evolución, tal como se puede observar en el Cuadro 4.

Considerando lo anterior se determinó que el cauce principal de la cuenca en estudio, representada por el río Temascaltepec, alcanza el 7o. orden, y a él confluyen cuatro ríos de 6o. y nueve de 5o. orden, formando en conjunto 13 subcuencas principales; el resto de las corrientes suman un total de 238 que se identificaron como de 3o. y 4o. orden.

Las 13 subcuencas principales del río Temascaltepec son: río Verde (A), arroyo El Vado (B), arroyo Los Quelites (C), río El Chilero (D), arroyo La Laja (E), río El Campanario (F), arroyo Zacazonapan (G), arroyo Agua Zarca (H), arroyo San Miguel (J), arroyo El Jaconal (K), arroyo Los Sabinos (L), arroyo Chiquito (M) y río La Mina de Fierro (N). Las subcuencas restantes, por ser de menor orden y superficie, se agruparon en una sola denominada río Temascaltepec (I) (véanse Mapa Hidrográfico y Cuadro 5).

Los resultados de los parámetros determinados para cada subcuenca se observan en el Cuadro 5, Gráficas 21-24 y Figuras 1-3.

Las subcuencas que cubren la parte alta y una porción de la sección media de la cuenca, identificadas como río Verde (A), arroyo El Vado (B) y arroyo Los Quelites (C), presentan valores bajos en todos los parámetros: densidad de general entre 2.0-2.8 km/km², densidad de primer orden de 1.2-1.8 km/km² y frecuencia de cauces menor de 6 (véanse Cuadro 5, Gráfica 21,22,23,24 y Figuras 1, 2 y 3). Esto confirma, en forma general, que la baja "eficiencia energética de la precipitación", representada por las lluvias orográficas, está bien amortiguada por la cobertura cerrada que forman los bosques de pino-encino, de pino y de oyamel, por lo que se establece una baja velocidad de erosión. Por otra parte, y de acuerdo con los criterios establecidos, la red de drenaje en estas subcuencas está en un proceso de formación lenta o de baja energía.

Las subcuencas de los arroyos Zacazonapan (G) y San Miguel (J) ubicadas en la parte baja, y la del río La Mina de Fierro (N), en la cuenca media, presentan valores medios en todos los parámetros; densidad general entre 2.8 y 3.6 km/km², densidad de primer orden entre 1.8 y 2.4 km/km², y una baja frecuencia de cauces entre 7 y 13 (véanse Cuadro 5, Gráficas 21-24 y Figuras 1-3). Esto confirma, en forma general, que la alta "eficiencia energética de la precipitación", generada por las lluvias convectivas en estas zonas, no puede ser totalmente amortiguada por la cobertura abierta de la selva baja caducifolia o por la cobertura semicerrada del bosque de pino-encino, que se presenta al inicio de la temporada lluviosa (junio) que es cuando el suelo se encuentra desprotegido, provocando mayor velocidad de

CUADRO 5
DENSIDAD Y FRECUENCIA DE CAUCES DE LAS SUBCUENCAS
RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO

SUBCUENCA	CLAVE	SUPERFICIE (km ²)	L.T.C. (Km)	D.G.D. (Km ² /Km)	VALOR CUALITATIVO	1.ºer. (Km ² /Km)	VALOR CUALITATIVO	F.C.1.ºer. (C/Km ²)	VALGR CUALITATIVO
R. VEE	A	220.80	580.20	2.62	BAJO	1.40	BAJO	4.50	BAJO
A. EL VADO	B	115.80	239.50	2.06	BAJO	1.19	BAJO	3.30	BAJO
A. LOS QUELITES	C	73.60	193.70	2.63	BAJO	1.58	BAJO	5.50	BAJO
R. EL CHILERO	D	106.01	365.80	3.45	MEDIO	1.9	MEDIO	5.70	BAJO
A. LA LAJA	E	13.20	52.60	3.98	ALTO	2.27	MEDIO	5.40	BAJO
R. EL CAMPAMARIO	F	108.80	319.00	2.89	MEDIO	1.69	BAJO	6.10	BAJO
A. IACAZOMAPA	G	43.70	157.01	3.59	MEDIO	2.08	MEDIO	9.08	MEDIO
A. AGUA DE LA	H	50.01	165.50	3.31	MEDIO	1.89	MEDIO	6.60	BAJO
R. TEMASCALTEPEC	I	189.40	546.50	2.88	MEDIO	1.60	BAJO	8.60	MEDIO
A. SAN MIGUEL	J	21.01	69.70	3.32	MEDIO	2.01	MEDIO	8.30	MEDIO
A. EL JACONAL	K	47.90	191.70	4.01	ALTO	2.45	ALTO	9.20	MEDIO
A. LOS SABINOS	L	156.70	499.90	3.19	MEDIO	1.81	MEDIO	5.60	BAJO
A. CHIQUITO	M	50.80	193.01	3.79	ALTO	2.43	ALTO	9.20	MEDIO
R. LA MINA DE FIERRO	N	27.20	92.01	3.38	MEDIO	2.09	MEDIO	7.20	MEDIO

L.T.C. = Longitud total de cauces fluviales
D.G.D. = Densidad general de cauces fluviales.
D.D.1.ºer. = Densidad de cauces fluviales de 1.ºer. orden.
F.C.1.ºer. = Frecuencia de cauces fluviales de primer orden
C/Km² = Cauces por kilómetro cuadrado.

erosión. Dicha condición se modifica conforme la época de humedad avanza, logrando que ambos tipos de vegetación alcancen una cobertura cerrada capaz de amortiguar la energía de la precipitación el resto de la temporada, repercutiendo en la disminución de la velocidad de erosión. La combinación de valores obtenidos refleja que la red de drenaje en estas subcuencas se ubica dentro de un desarrollo intermedio y con una velocidad de erosión hídrica media.

Las subcuencas de los ríos El Campanario (F) y El Chilero (D), ubicadas en la parte media, y la del arroyo Agua Zarca (H), localizada en la sección baja y media de la cuenca, presentan valores semejantes en sus parámetros: densidad general de cauces media ($1.8-2.4 \text{ Km/km}^2$), valores bajos y medios de densidad de primer orden ($1.2-2.4 \text{ Km/km}^2$) y baja frecuencia de cauces de primer orden (0-6) (véanse Cuadro 5, Gráficas 22-24 y Figuras 1, 2 y 3); esto confirma, una vez más, que la baja eficiencia energética de la precipitación, generada por las lluvias orográficas, es amortiguada por la cobertura semicerrada que forman los bosques de pino-encino, al inicio de la época lluviosa (junio), la que se modifica conforme la época de humedad avanza, logrando una cobertura cerrada capaz de amortiguar eficientemente la precipitación el resto de la temporada. La red de drenaje se identifica con un desarrollo intermedio, con baja velocidad de erosión.

La subcuenca del arroyo de Los Sabinos (L), ubicada en la parte baja, presenta valores medios de densidad general (3.19 Km/Km^2) y de primer orden (1.81 Km/Km^2), en tanto que la

frecuencia de cauces es baja (5.6); lo anterior muestra que la cobertura abierta que presenta la selva baja caducifolia, a principio de la temporada lluviosa, es significativa, pudiendo controlar eficientemente la energía de las lluvias convectivas, la cual se incrementa el resto de la temporada, cuando la vegetación ha alcanzado una cobertura cerrada. Los valores moderados de los parámetros restantes reflejan, simplemente, que la red de drenaje se encuentra en un desarrollo intermedio, con baja velocidad de erosión.

Las subcuencas de los arroyos El Jaconal (K) y Chiquito (M), ubicados en la parte baja, presentan valores altos de densidad de cauces, tanto general (3.6 y 4.4 Km/Km²) como de primer orden (2.4 y 3.0 Km/Km²), y valores medios de frecuencia de cauces (7-13); esto confirma, en forma general, que la alta eficiencia energética de la precipitación generada por las lluvias convectivas no es amortiguada por la cobertura abierta o semicerrada que forman la selva baja caducifolia y los encinares, cuando se presentan las primeras lluvias, ni aun cuando la cobertura cambia a cerrada el resto de la temporada. Los resultados permiten determinar que la red de drenaje se está desestabilizando con una moderada velocidad de erosión indicada por el incremento de frecuencia de cauces de orden 1.

La subcuenca del arroyo La Laja (E), ubicada en el centro de la parte media de la cuenca, presenta una alta densidad general de cauces (3.98 km/km²), moderada densidad de primer orden (2.27) y una baja frecuencia de cauces (5.4); estos resultados, aunque son heterogéneos, muestran que la baja

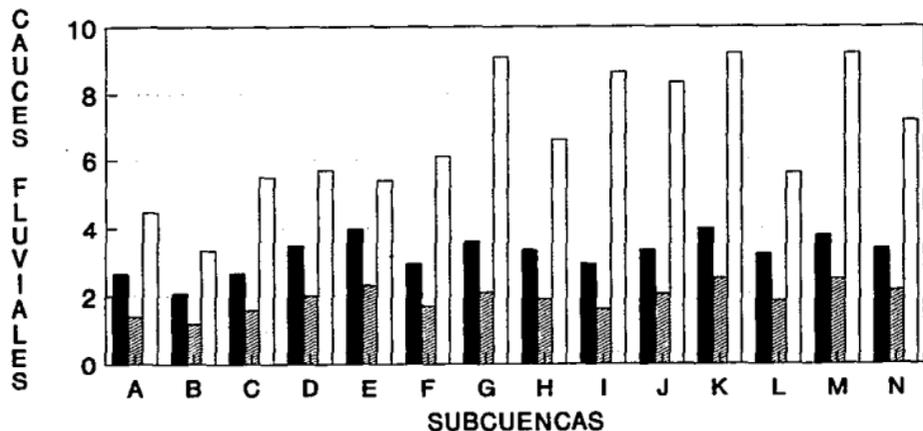
eficiencia energética de la precipitación, generada por las lluvias orográficas, es amortiguada por la cobertura semicerrada que forma el bosque de pino-encino, al principio de la temporada lluviosa, que se torna cerrada logrando controlar la energía de la precipitación el resto de la temporada. Los resultados muestran que es una red estabilizada, con baja velocidad de erosión.

Por todo lo anterior se considera que la parte baja de la cuenca recibe, en su mayoría, una alta eficiencia energética de la precipitación de lluvias convectivas, que no puede ser completamente amortiguada por la selva baja caducifolia y el encinar, generándose, entonces, una velocidad de erosión que va desde baja hasta moderada. Por otra parte, las subcuencas pueden presentar una red con desarrollo intermedio o en proceso de desestabilización.

Las subcuencas de la parte media reciben tanto lluvias convectivas como orográficas, por lo que presentan una alta y una media eficiencia energética de la precipitación que es amortiguada por el bosque de pino-encino. La red de drenaje, en general, es intermedia con baja velocidad de erosión.

Las subcuencas que cubren la parte alta reciben baja eficiencia energética de la precipitación, provocada por las lluvias orográficas, que es suficientemente amortiguada por los pinares y bosques de oyamel. La red de drenaje se encuentra en proceso de formación, con baja velocidad de erosión.

DENSIDAD Y FRECUENCIA DE CAUCES DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO.



D.G.D.
 D.D. 1er.
 F.C. 1er.

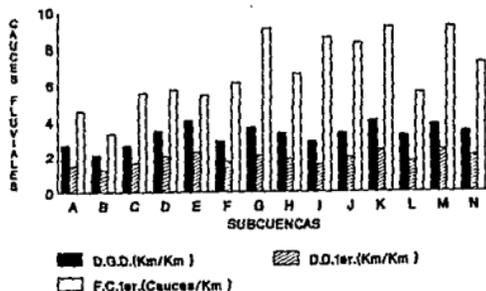
D.G.D. = Densidad gral. cauces fluviales
D.D.1er. = Densidad de cauces 1er. orden
F.C.1er. = Frecuencia Cauces 1er. orden

A- R. VERDE
D- R. EL CHILERO
G- A. ZACAZONAPAN
J- A. SAN MIGUEL
M- A. CHIQUITO

B- A. EL VADO
E- A. LA LAJA
H- A. AGUA ZARCA
K- A. EL JACONAL
N- R. LA MINA DE FIERRO

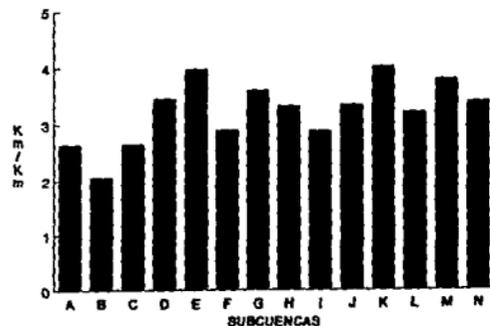
C- A. LOS QUELITES
F- R. EL CAMPANARIO
I- R. TEMASCALTEPEC
L- A. LOS SABINOS

DENSIDAD Y FRECUENCIA DE CAUCES DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC



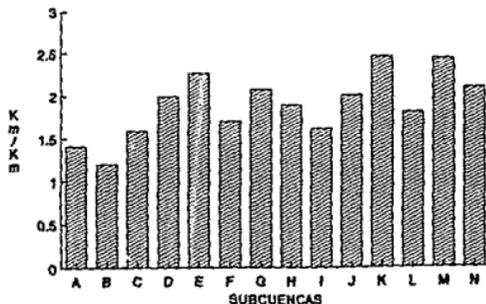
GRAFICA No. 21
 D.G.D. = Densidad genl. cauces fluviales
 D.D.1er. = Densidad de cauces 1er. orden
 F.C.1er. = Frecuencia Cauces 1er. orden

DENSIDAD GENERAL DE CAUCES FLUVIALES DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC



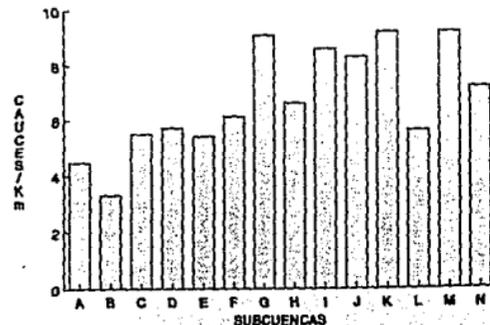
GRAFICA No. 22

DENSIDAD DE CAUCES FLUVIALES DE PRIMER ORDEN DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC



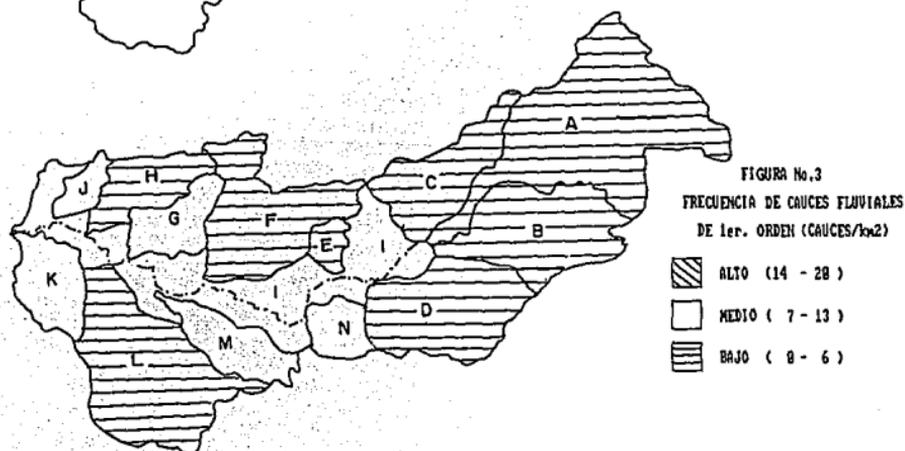
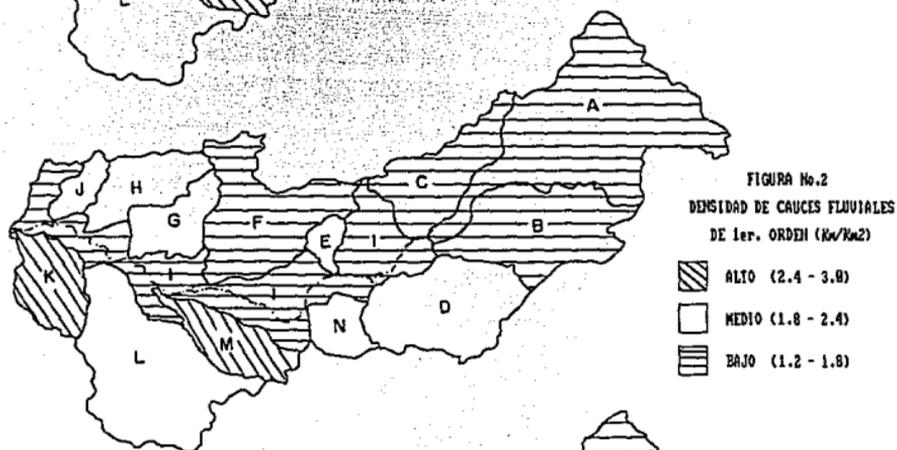
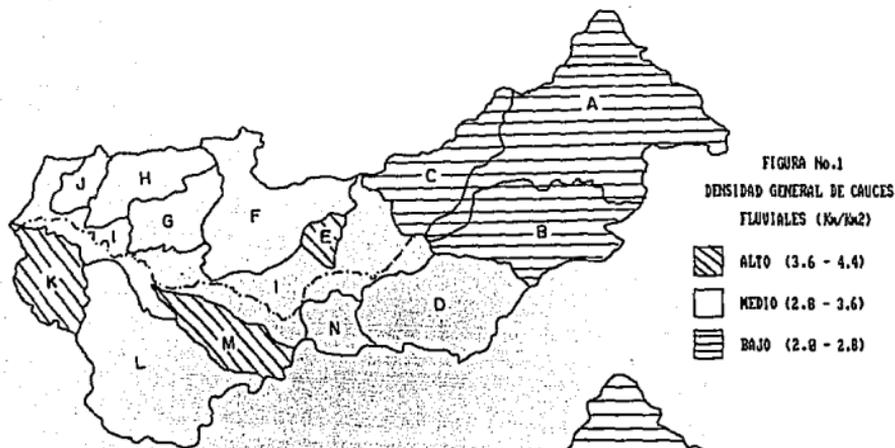
GRAFICA No. 23

FRECUENCIA DE CAUCES DE PRIMER ORDEN DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC



GRAFICA No. 24

CLASIFICACION CUALITATIVA DE DENSIDAD Y FRECUENCIA DE CAUCES DE LAS
SUBCUENAS DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO.



V BALANCE HIDRICO

El balance hídrico se hizo para conocer la trayectoria que sigue el agua en la cuenca, identificando el volumen que entra, el que se almacena o retiene y el que sale, los cuales se relacionan en la ecuación general:

$$P = Q + E + I$$

En donde:

P = precipitación (mm)

Q = escurrimiento (mm)

E = evapotranspiración potencial (mm)

I = infiltración (mm)

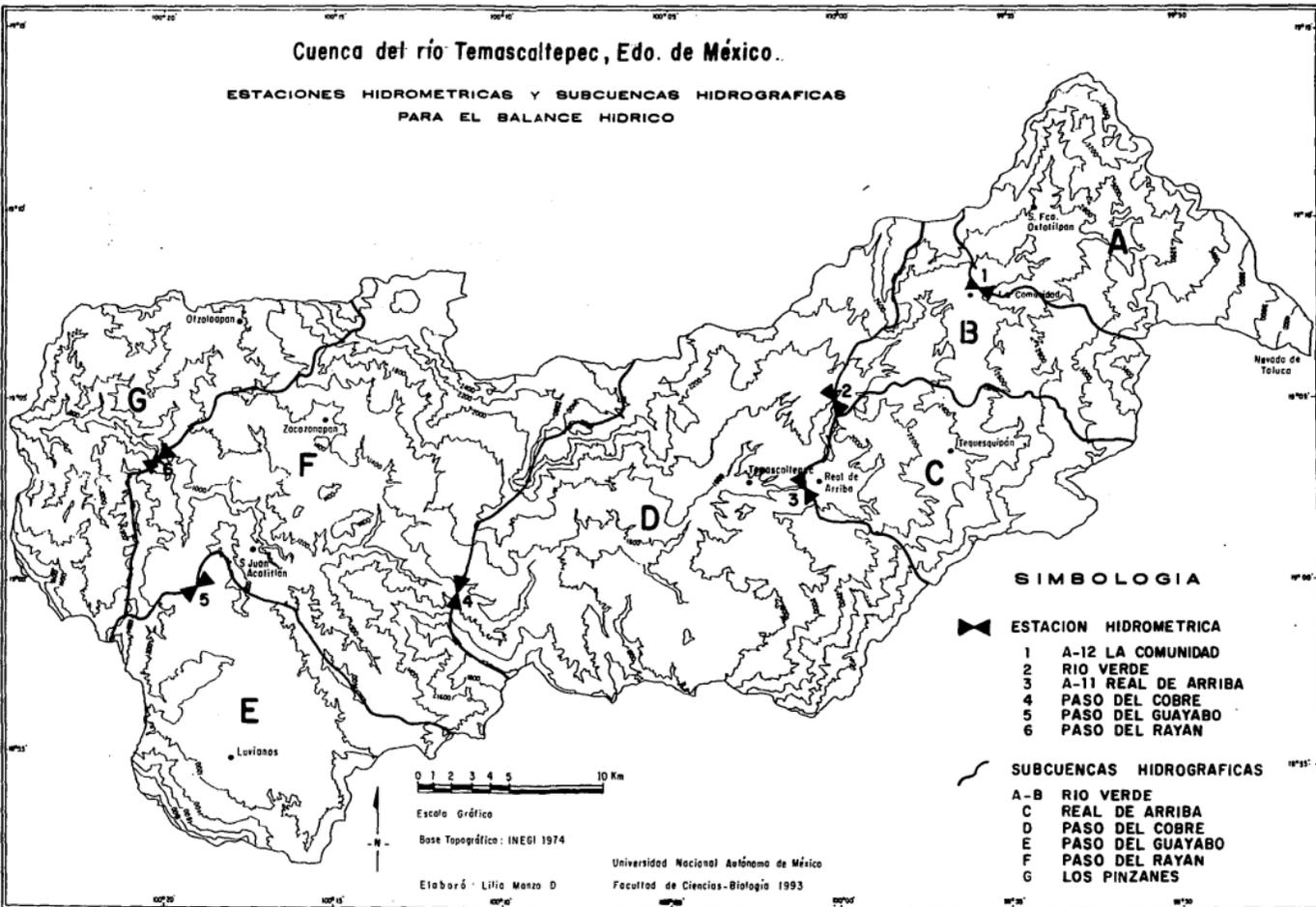
La ecuación expresa en forma general que el agua que se precipita en un lugar se escurre, o se evapora o se infiltra, por lo que, finalmente, la suma es igual al volumen recibido.

Para calcular el balance hídrico se utilizaron las estaciones hidrométricas A-12, La Comunidad (1); Río Verde (2); Real de Arriba (3); Paso del Cobre (4); Paso del Guayabo (5) y Paso del Rayán (6) (véase resumen de datos, Anexo 2). Para la parte final de la cuenca, denominada Los Pinzanes, por carecer de estación hidrométrica, se estimaron sus volúmenes mensuales y anuales, tomando como referencia los valores promedio de la estación Paso del Rayán (véanse Mapa de Estaciones Hidrométricas y Subcuencas Hidrográficas para el Balance Hídrico y Anexo 2).

Las superficies de captación de las estaciones hidrométricas representaron las diferentes subcuencas, con excepción de la de Río Verde (A-B) que incluye a la estación A-12, La Comunidad, quedando las restantes identificadas como: Real de Arriba (C),

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

ESTACIONES HIDROMETRICAS Y SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS
PARA EL BALANCE HIDRICO



SIMBOLOGIA

-  ESTACION HIDROMETRICA
- 1 A-12 LA COMUNIDAD
 - 2 RIO VERDE
 - 3 A-11 REAL DE ARRIBA
 - 4 PASO DEL COBRE
 - 5 PASO DEL GUAYABO
 - 6 PASO DEL RAYAN

-  SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS
- A-B RIO VERDE
 - C REAL DE ARRIBA
 - D PASO DEL COBRE
 - E PASO DEL GUAYABO
 - F PASO DEL RAYAN
 - G LOS PINZANES

0 1 2 3 4 5 10 Km

Escala Gráfica

Base Topográfica: INEGI 1974

Elaboró: Lilia Manzo D

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias-Biología 1993

Paso del Cobre (D), Paso del Guayabo (E), Paso del Rayán (F) y Los Pinzanes (G). Para cada una de éstas se realizaron los cálculos del balance hídrico tanto anual como mensual (véanse Mapa Balance Hídrico Anual Porcentual, Gráficas 25-55 y Anexo 2).

Los resultados del balance hídrico anual de cada subcuenca se presentan en el Cuadro 6, en el que se observa que el balance hídrico general de la cuenca se obtuvo promediando los datos parciales. En las gráficas de la 25 a la 55 se observa el comportamiento del balance hídrico anual porcentual, la relación de precipitación-escorrentía y el balance hídrico mensual de las diferentes subcuencas.

A continuación se describe el balance hídrico general de la cuenca del río Temascaltepec y posteriormente se presentará el de las subcuencas que lo integran.

V.1 BALANCE HIDRICO GENERAL

La cuenca del río Temascaltepec, localizada entre los 800 y 4 500 msnm, se encuentra bajo la influencia de cinco mesoclimas: I A cálido subhúmedo, II B semicálido húmedo, III B templado húmedo, IV B semifrío húmedo y V A frío subhúmedo. Por su posición geográfica, la circulación de los vientos locales genera lluvias de tipo convectivo y orográfico dando lugar a un periodo húmedo que varía entre 5 y 9 meses, por lo que anualmente recibe 1255.56 mm de precipitación, de los cuales el 9.6% se infiltra, el 24.99% se escurre y el 65.37% se evapotranspira (véase Gráfica 25). Considerándose, por tanto, una región húmeda que tiene la capacidad de retener el agua en la época de lluvia, lo que es suficiente para realizar los procesos de evapotranspiración y

CUADRO No. 6

BALANCE HIDRICO COMPARATIVO DE LAS
SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO.

SUBCUENCA (CLAVE)	AREA Km ²	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)	INFILTRACION MEDIA ANUAL (mm)	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL (mm)	EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm)
RIO VERDE (A-B)	212.80	1321.03 100 %	383.66 29.04	269.30 20.39	668.07 50.57
REAL DE ARRIBA (C)	112.60	1368.03 100 %	22.90 1.67	629.58 46.02	715.54 52.30
PASO DEL COBRE (D)	321.20	1364.66 100 %	71.04 5.21	475.72 34.86	817.90 59.93
PASO DEL RAYAN (F)	287.20	1272.50 100 %	342.07 26.89	80.43 6.32	850 66.80
PASO DEL GUAYABO (E)	140.30	1140.91 100 %	-155.25 -13.61	360.27 31.58	935.89 82.03
LOS PINZAMES (G)	150.80	1066.24 100 %	61.81 5.80	67.37 6.32	937.07 87.89
PROMEDIO TOTAL	1224.90	1255.56	121.04	313.78	820.75
PORCENTAJE		100	9.64	24.99	65.37

escurrimiento en la temporada seca.

Las variaciones altitudinales determinan modificaciones en la circulación local del viento, teniendo como consecuencia que en las partes altas haya menor evapotranspiración a pesar de recibir mayor precipitación, en tanto que en las partes bajas las necesidades de evapotranspiración son mayores y se registra menor volumen de precipitación, ocasionando, finalmente, que el comportamiento de infiltración y escurrimiento sea diferente. A continuación se presenta el análisis del balance hídrico por subcuencas.

V.2 BALANCE HIDRICO POR SUBCUENCAS

V.2.1 La Subcuenca Río Verde (A-B)

Se encuentra cubriendo la mayor parte de la cuenca alta, por arriba de los 2 000 msnm, y bajo la influencia de tres condiciones climáticas: la VA, fría subhúmeda, por arriba de los 3 500 de los msnm, la IV B, semifría húmeda, entre 2 500 y 3 500 msnm y la III B, templada húmeda, por abajo de los 2 500 msnm.

Por su posición geográfica, la circulación de los vientos locales permite la generación de lluvias de tipo orográfico lográndose un período húmedo de entre 7 y 9 meses, que anualmente recibe un promedio de 1321.03 mm de precipitación, de los cuales el 50.57% se evapotranspira, valor que queda abajo del promedio general de la cuenca, que es de 65.37%, por lo que se trata de una subcuenca con exceso de humedad o muy húmeda. De la precipitación restante el 20.39% escurre y el 29.04% se infiltra (véase Gráfica 26). Estos valores confirman los resultados del análisis morfométrico, en el que se vio que la cobertura cerrada

que forman los bosques de pino y oyamel amortiguan eficientemente las lluvias, dando lugar a mejor infiltración y baja velocidad de erosión que se reflejan en baja densidad y frecuencia de cauces fluviales.

La marcha anual del escurrimiento muestra, desde mayo, un ligero incremento (17.53 mm) como respuesta a las primeras lluvias, el que aumenta gradualmente hasta alcanzar su máximo en septiembre (34.75 mm). A partir de octubre se inicia un decremento gradual hasta el mes de febrero, logrando mantener un gasto de 13.0 mm, en promedio, hasta el mes de abril cuando se vuelve a incrementar. El escurrimiento en el estiaje indica que la subcuenca tiene aportación importante del agua que se captó y se infiltró en la época de lluvias, logrando mantener un escurrimiento moderado durante esta parte del año (véanse Gráficas 32-34 y Anexo 2)

El periodo de infiltración se inicia en mayo (16.43 mm) y termina en octubre, siendo la recarga total de este periodo de 495.95 mm, con julio como mes de mayor recarga (124.22 mm). De noviembre a abril la infiltración es mínima o nula, sin embargo, la reserva lograda es suficiente para mantener la humedad en el suelo e, incluso, generar un escurrimiento promedio de 13.0 mm en los meses de febrero-abril (véanse Gráfica 50 y Anexo 2)

De acuerdo con los resultados obtenidos, esta subcuenca establece una relación inversa entre el alto volumen de precipitación y la baja densidad de cauces, logrando, en esta forma, un alta infiltración y, por tanto, una alta estabilidad ambiental en la que la cobertura vegetal juega un papel

importante.

V.2.2 La Subcuenca Real de Arriba (C)

Se extiende en la porción sur de la cuenca alta, entre los 1 800 y 3 000 msnm, y ocurre bajo dos condiciones mesoclimáticas, la IV B, semifría húmeda, por arriba de los 2 600 msnm y la III B, templada húmeda. La circulación local provoca que los vientos del norte generen lluvias de tipo orográfico por un periodo de 6 meses. La precipitación anual promedio es de 1368.03 mm, de la que el 52.30 % se evapotranspira, valor que queda por abajo del promedio general de 65.37 mm, por lo que se trata de una subcuenca con exceso de humedad. Del volumen precipitado el 46.0 % se escurre y el 1.67 % se infiltra (véase Gráfica 27).

Estos resultados coinciden claramente con los interpretados en el análisis morfométrico en el que se estableció, como premisa, que la falta de cobertura cerrada de los bosques mixtos favorece la energía erosiva de la precipitación, disminuye la infiltración y aumenta el escurrimiento. Cabe aclarar con respecto al último punto, de acuerdo con la hipótesis planteada en la sección de morfometría, que se debería haber observado una densidad de drenaje fluvial media o alta; sin embargo, esto no sucedió así, ya que, a pesar de la ausencia de cobertura vegetal natural y el alto escurrimiento, se registró una densidad de drenaje baja.

La explicación a dicho comportamiento es la presencia de una pendiente ligera cubierta por cultivos que han funcionado eficientemente para amortiguar la baja energía de la precipitación generada por las lluvias orográficas, logrando una

infiltración rápida y un escurrimiento inmediato, lo que mantiene una baja velocidad de erosión que se refleja en baja densidad de drenaje.

La marcha anual del gasto mensual de escurrimiento se inicia en mayo (21.07 mm) como respuesta a las precipitaciones preliminares del periodo de lluvias, mismo que alcanza su máximo en septiembre, con 125.64 mm. De octubre a enero se inicia el estiaje con un decremento gradual de escurrimiento que se estabiliza entre febrero y abril, con un gasto mínimo que permanece alrededor de 15 mm en promedio (véanse Gráficas 35-37 y Anexo 2)

El proceso de infiltración se inicia en junio y se mantiene hasta fines de octubre generando una reserva de 280.67 mm, lo que representa un 20.50% con respecto al volumen anual de la precipitación, el cual es suficiente para que en los meses de sequía (noviembre-abril) se mantenga un escurrimiento de 29.70 mm en promedio, considerándose más alto en comparación con los registros de la subcuenca Río Verde (véanse Gráfica 51 y Anexo 2).

Dicho comportamiento establece en la cuenca una relación inversa entre el alto volumen de precipitación y la baja densidad de cauces, sin embargo, la infiltración es baja y el escurrimiento es alto, lo cual, anteriormente se explicó, se debía a que dichos comportamientos estaban influidos por las pendientes ligeras y el sustrato litológico, más que por la cobertura vegetal, considerándose, por tanto, que presenta una alta estabilidad ambiental.

V.2.3 La Subcuenca Paso del Cobre (D)

Esta ocupa la parte media de la cuenca, entre los 1 400 y 2 000 msnm, y presenta dos condiciones mesoclimáticas: la III B, templada húmeda por arriba de los 1 800 msnm y la II B semicálida húmeda, que se extiende más allá del límite inferior.

En ella los vientos del oeste ocasionan lluvias de tipo convectivo y orográfico por un periodo de 5 meses. Anualmente recibe un volumen promedio de 1364.66 mm de precipitación de la cual el 59.93% se evapotranspira, valor que se sitúa abajo del promedio general de 65.37% y, por tanto, se considera una cuenca húmeda. El balance calculado muestra que el 34.86% del volumen precipitado escurre y el 5.21% se infiltra (véase Gráfica 28).

Estos resultados corroboran los altos valores de densidad de drenaje obtenidos en el análisis morfométrico, en el que se estableció que la cobertura cerrada y semicerrada del bosque de pino y encino no amortiguan eficientemente la precipitación, generando, por ello, una capacidad de erosión mayor y, por tanto, una densidad media de cauces fluviales que redundan en un escurrimiento muy alto y un volumen de infiltración bajo.

La marcha anual del escurrimiento se inicia junto con la temporada de lluvias, o sea en junio, con un gasto mensual de 43.00 mm, y se continúa con un comportamiento irregular hasta septiembre, coincidiendo con el máximo volumen alcanzado que es de 92.76 mm. A partir de octubre se presenta un rápido decremento que se estabiliza alrededor de 15 mm entre los meses de enero y mayo (véanse Gráficas 38-40 y Anexo 2). Lo anterior indica que el área tiene una capacidad media para retener el agua infiltrada

durante el periodo de lluvias.

La infiltración se registra a partir de junio (93.48 mm) y se mantiene hasta octubre, siendo septiembre el mes de mayor recarga (108.98 mm); en toda la temporada se almacena un volumen de 364.96 mm que representan el 26.74% del volumen total precipitado. Este valor cubre satisfactoriamente las necesidades de la evapotranspiración y permite el escurrimiento en la temporada de estiaje (véase Gráfica 52)

De conformidad con los resultados obtenidos en esta subcuenca se establecen dos relaciones, entre la alta precipitación y la baja densidad de cauces, que se registra en la porción norte, y la densidad media que se registra al sur, identificando el primer caso como inverso y el segundo como intermedio, observándose en ambas partes una moderada infiltración y, por ende, una moderada estabilidad en la que la cobertura vegetal juega un papel importante.

V.2.4 La subcuenca Paso del Guayabo (E)

Se ubica en la porción sur de la cuenca baja, entre los 1 200 y 1 800 msnm, influida por la condición mesoclimática I A, cálida subhúmeda; en ella los vientos del oeste y suroeste ocasionan lluvias de tipo convectivo, dando lugar a un periodo húmedo de 5 meses. Anualmente recibe un volumen de precipitación promedio de 1140.91 mm, de los que el 82.03% se elimina en el proceso de evapotranspiración, valor superior al promedio general de 65.37%, lo que trae como consecuencia que la cuenca sea semiseca. Según los cálculos, el balance indica que el 31.58% se escurre y la infiltración es casi nula, dado que en los meses

infiltración, logrando almacenar en toda la temporada sólo 268.62 mm (23.54% del total anual). El porcentaje de infiltración no es suficiente para cubrir las demandas de la evapotranspiración de todo el periodo seco (423.88 mm), por lo que al realizar el balance anual se registraron valores negativos desde octubre hasta abril, que indican, simplemente, que no existen reservas de agua para realizar todos los procesos fisiológicos de la vegetación. Esto confirma que la caducidad de la vegetación, presente en este sitio, es una respuesta de adaptación para superar las condiciones de aridez.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en esta subcuenca se establece una relación intermedia entre el bajo volumen de precipitación y la densidad media de cauces, logrando, en esta forma, una baja infiltración y, en consecuencia, una alta estabilidad en la que la cobertura vegetal juega un papel secundario, ya que influyen con mayor prioridad las pendientes ligeras y el sustrato litológico, que generan baja velocidad de erosión. Al respecto también cabe retomar la explicación, hecha anteriormente, en la que se dijo que es una zona vulnerable porque pierde y gana humedad con mucha facilidad, lo cual confirma su estabilidad.

V.2.5 La Subcuenca Paso del Rayán (F)

Se ubica en la porción media y baja de la cuenca, entre los 1 000 y 2 400 msnm, y presenta tres condiciones mesoclimáticas: la III B, templada húmeda, por arriba de los 1 800 msnm; la II B, semicálida húmeda, entre los 1 200 y 1 800 y la I A, cálida subhúmeda, por abajo de los 1 200 msnm. En ella los vientos del

oeste ocasionan lluvias de tipo convectivo, favoreciendo una temporada húmeda de 5 meses. Anualmente recibe un volumen de precipitación de 1274.50 mm en promedio, de la que el 66.80% se elimina como parte del proceso de evapotranspiración, valor ligeramente superior al promedio general de la cuenca, de 65.37%, por lo que es una subcuenca húmeda. Del resto del volumen precipitado el 6.32% escurre y el 26.88% se infiltra (véase Gráfica 30).

Dichos resultados confirman que la cobertura cerrada y semicerrada que forma el bosque mixto de pino-encino, y la cerrada y abierta de la selva baja caducifolia amortiguan las lluvias en forma variable, estableciendo diferentes condiciones para la infiltración, que influye en una baja densidad de cauces fluviales en la porción norte (cobertura de bosque mixto) y moderada en la porción sur (cobertura de selva baja caducifolia).

El escurrimiento se presenta en el periodo de lluvias que se inicia en junio (10.99 mm) y se mantiene hasta octubre, observándose un brusco decremento en septiembre (3.07 mm), como consecuencia de la sequía interestival del periodo julio-agosto. En octubre se registra el mayor gasto, con 17.08 mm, reduciéndose rápidamente, durante noviembre y diciembre, hasta 5.13 mm, y se estabiliza en 2.5 mm desde enero hasta mayo.

Este comportamiento muestra que la subcuenca tienen una alta capacidad de retención inmediata del agua infiltrada, ya que el volumen de escurrimiento, en la temporada de lluvias se retrasa respecto a las precipitaciones; dicho comportamiento genera en la porción norte una baja velocidad de erosión que se manifiesta

también en la baja densidad de drenaje (véanse Gráficas 44-46 y Anexo 2)

El proceso de infiltración se inicia en junio y se mantiene hasta octubre, logrando importantes reservas de agua (661.31 mm) que representan el 51.96% de la precipitación anual, cantidad suficiente para mantener los procesos de evapotranspiración y la generación del escurrimiento en la época de sequía, logrando todavía un remanente de infiltración, considerable, de 342.07 mm que representan el 26.88% en el balance hídrico anual.

Dichos resultados confirman no sólo que la cobertura cerrada y semicerrada del bosque de pino-encino amortiguan eficientemente las lluvias, sino, además, que existe una gran influencia del material geológico, representado por esquistos, basaltos, riolitas y materiales metavolcánicos, para provocar una baja velocidad de erosión y una elevada infiltración.

Con base en los resultados analizados, en esta subcuenca se establece una relación intermedia entre el volumen medio de precipitación y las diferentes densidades de cauces: bajo, medio y alto, sin embargo, se registra una infiltración general alta, lo que contribuye a considerar que la mayor parte de la zona presenta una estabilidad media, con excepción de la porción sur, que se identificó como baja, ya que en ésta se registra una densidad de cauces alta, en lo que, muy probablemente, influye fuertemente el sustrato litológico.

V.2.6 La subcuenca Los Pinzanes (G)

Se ubica en la porción noreste de la cuenca baja, entre los 800 y 1 200 msnm, en un mesoclima I A, cálido subhúmedo; en esta

parte los vientos del oeste provocan lluvias de tipo convectivo, generando un periodo húmedo de 5 meses. Anualmente recibe un volumen de precipitación promedio de 1066.24 mm, de los que el 87.88% se pierde en el proceso de evapotranspiración, valor muy superior al promedio general de 65.37%, que trae como consecuencia que la cuenca sea semiseca. Del volumen de precipitación restante, el 6.32% se escurre y el 5.8% se infiltra (véase Gráfica 31).

Los resultados confirman que la cobertura cerrada y la abierta de la selva baja caducifolia, y la semicerrada y la abierta del encinar no pueden amortiguar eficientemente la energía de la precipitación, generándose una velocidad de erosión que va de moderada a alta, y una red de drenaje que se encuentra en proceso de desestabilización.

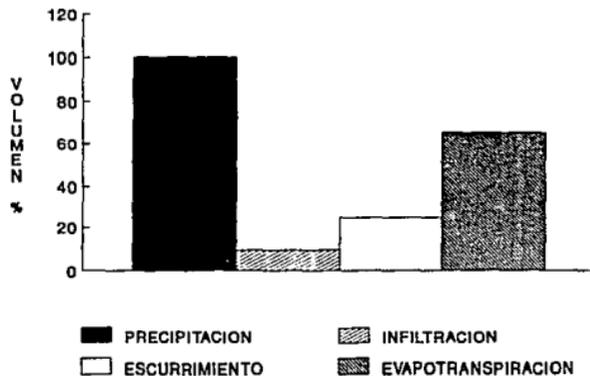
El escurrimiento se presenta en el periodo de lluvias que se inicia en junio (9.20 mm) y se mantiene hasta octubre, cuando se registra el mayor gasto, con 14.31 mm, el que se reduce rápidamente a partir de noviembre. Este comportamiento muestra que la subcuenca tiene baja capacidad para retener el agua infiltrada, pues el escurrimiento disminuye rápidamente a partir del inicio de sequía.

El proceso de infiltración se inicia en junio y se mantiene hasta octubre, logrando almacenar 470.77 mm que representan el 44% de la precipitación anual, cantidad suficiente para cubrir las demandas de evapotranspiración y la generación de escurrimiento en la época seca, logrando una ganancia de 61.81 mm que representan el 5.8% en el balance anual (véanse Gráficas

47-49 y Anexo 2).

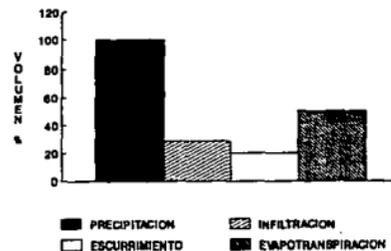
De acuerdo con los resultados obtenidos, en esta subcuenca se establece una relación intermedia en la parte norte, ya que se presenta un volumen bajo de precipitación relacionado con una densidad de drenaje medio, y una relación inversa en la parte sur, ya que se presenta la misma cantidad de precipitación pero la densidad de drenaje es alta; en ambas partes se registra una infiltración media, en consecuencia, se estableció que la porción norte presenta una moderada estabilidad, en tanto que la sur muestra una baja. Esto confirma que la cobertura vegetal juega un papel secundario, teniendo mayor influencia la evolución del drenaje.

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC



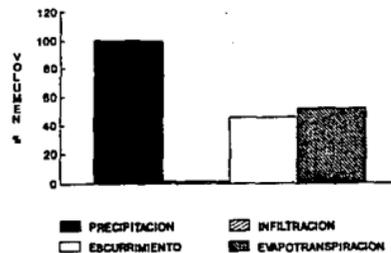
GRAFICA No. 25

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL SUBCUENCA RIO VERDE



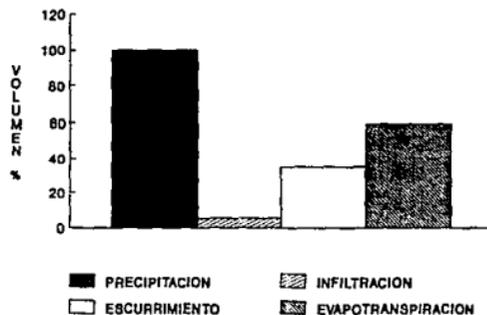
GRAFICA No. 26

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL SUBCUENCA REAL DE ARRIBA



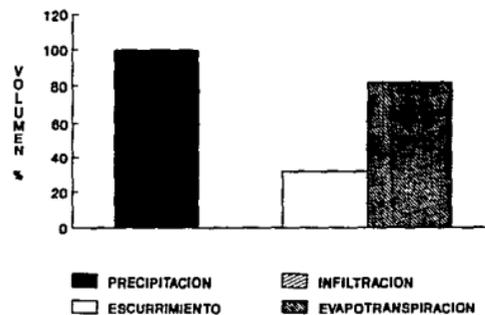
GRAFICA No. 27

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL
SUBCUENCA PASO DEL COBRE



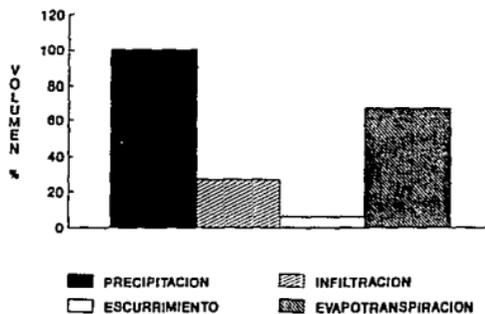
GRAFICA No. 28

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL
SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO



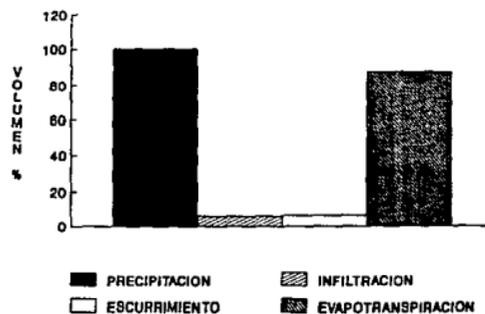
GRAFICA No. 29

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL
SUBCUENCA PASO DEL RAYAN



GRAFICA No. 30

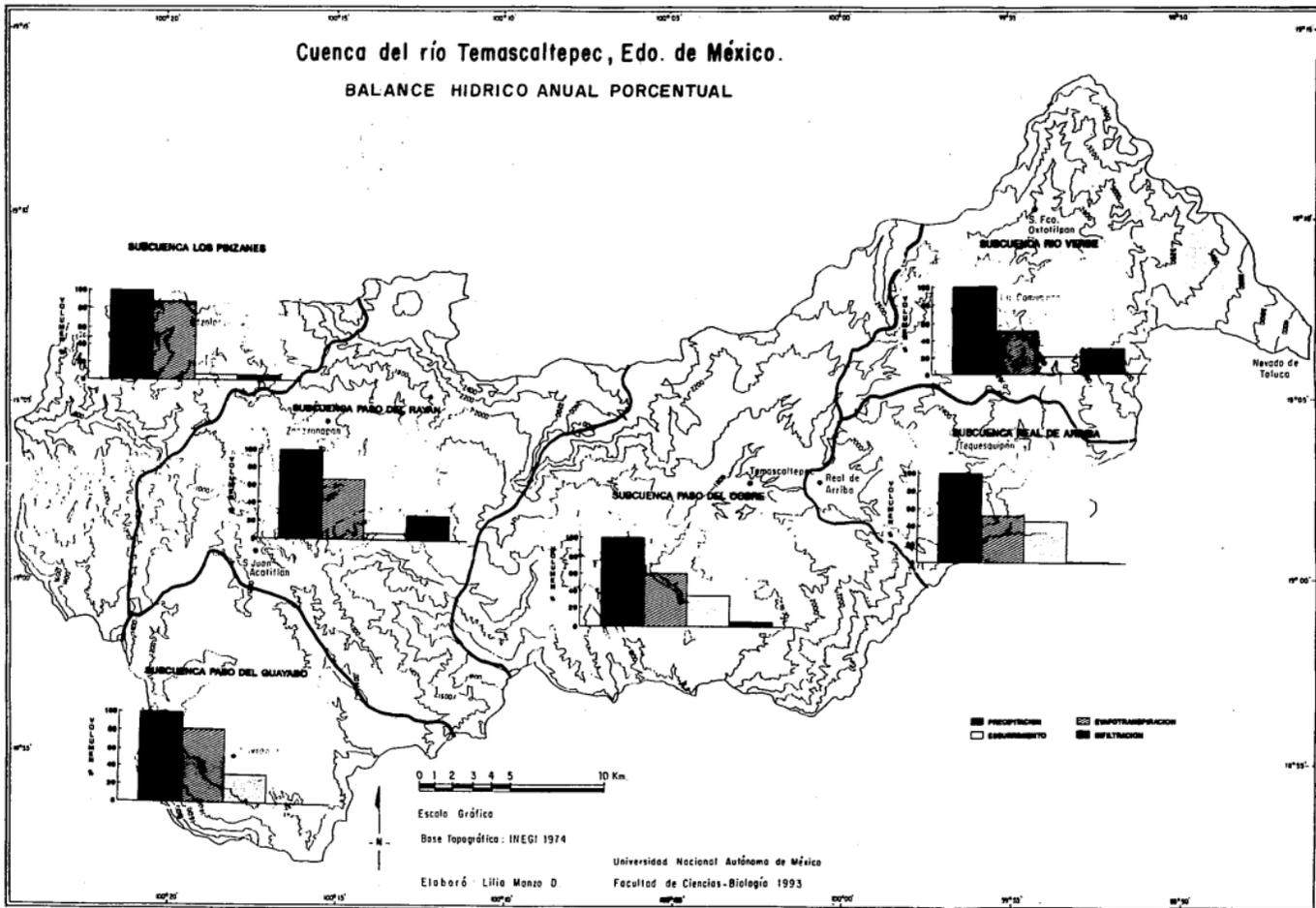
BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL
SUBCUENCA LOS PINZANES



GRAFICA No. 31

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

BALANCE HIDRICO ANUAL PORCENTUAL

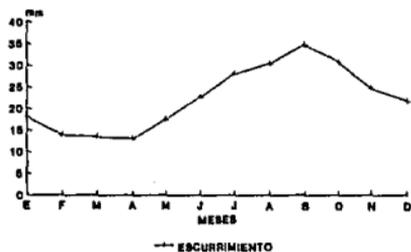


MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA RIO VERDE



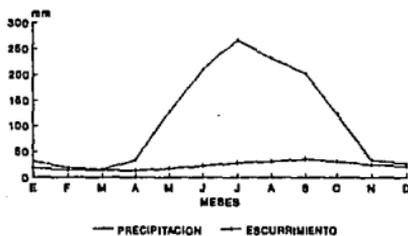
GRAFICA No. 32

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA RIO VERDE



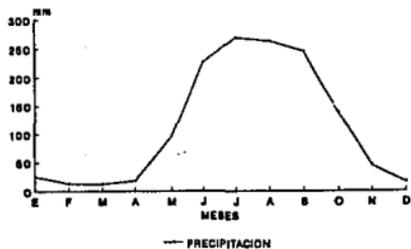
GRAFICA No. 33

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA RIO VERDE



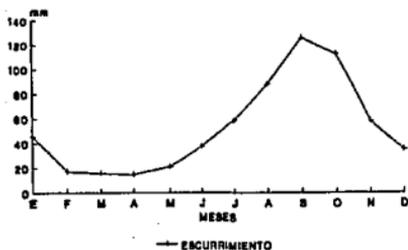
GRAFICA No. 34

MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA REAL DE ARRIBA



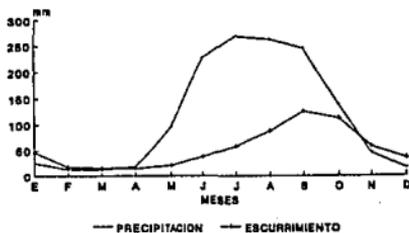
GRAFICA No. 35

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA REAL DE ARRIBA



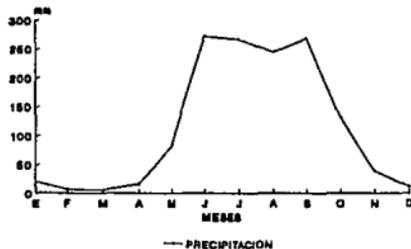
GRAFICA No. 36

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA REAL DE ARRIBA



GRAFICA No. 37

MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA PASO DEL COBRE



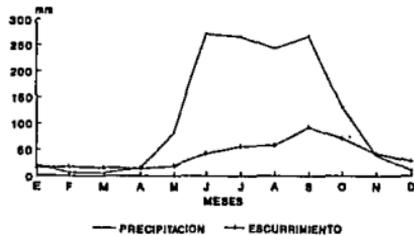
GRAFICA No. 38

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA PASO DEL COBRE



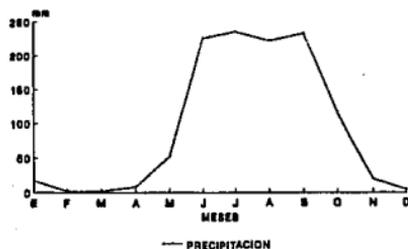
GRAFICA No. 39

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA PASO DEL COBRE



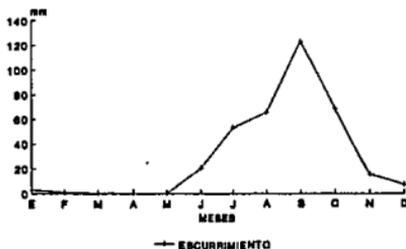
GRAFICA No. 40

MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO



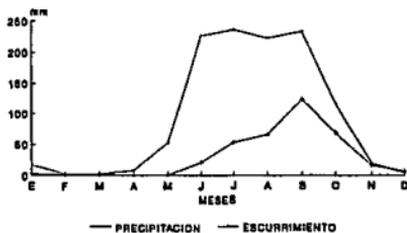
GRAFICA No. 41

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO



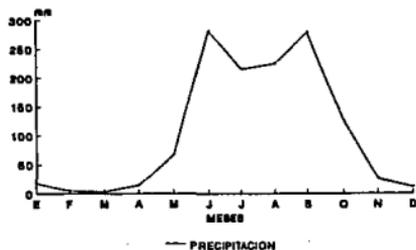
GRAFICA No. 42

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO



GRAFICA No. 43

MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA PASO DEL RAYAN



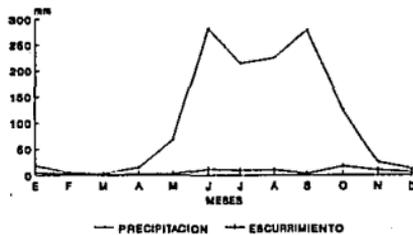
GRAFICA No. 44

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA PASO DEL RAYAN



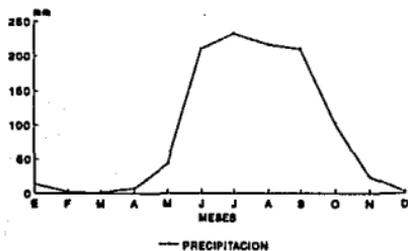
GRAFICA No. 45

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA PASO DEL RAYAN



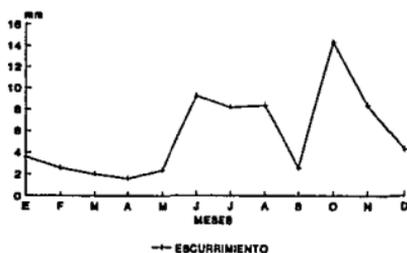
GRAFICA No. 46

MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION DE LA SUBCUENCA LOS PINZANES



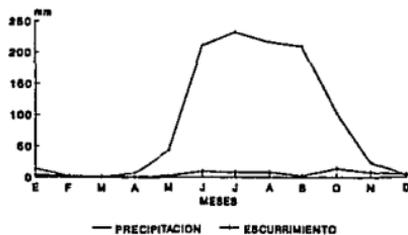
GRAFICA No. 47

MARCHA ANUAL DEL ESCURRIMIENTO SUBCUENCA LOS PINZANES



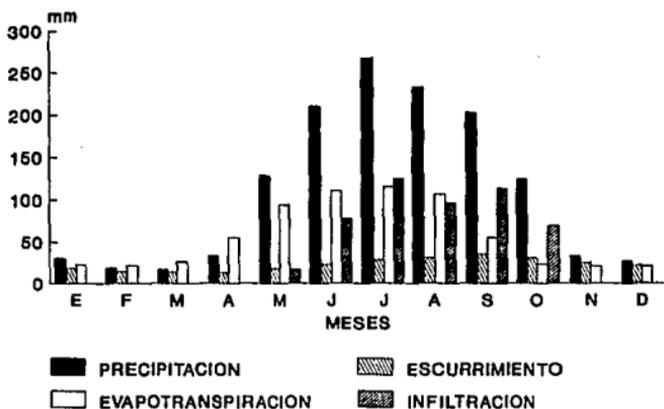
GRAFICA No. 48

RELACION DE LA MARCHA ANUAL DE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA SUBCUENCA LOS PINZANES



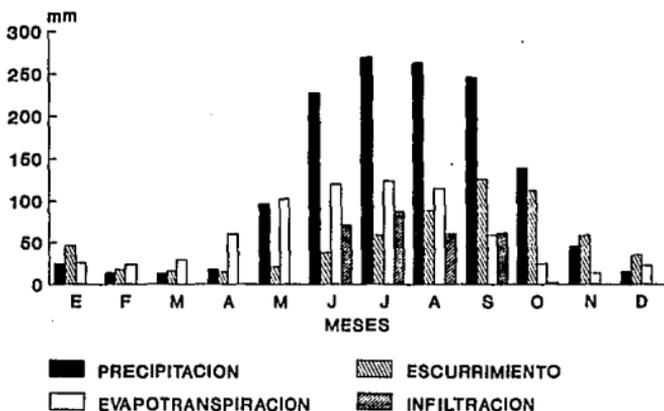
GRAFICA No. 49

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA RIO VERDE



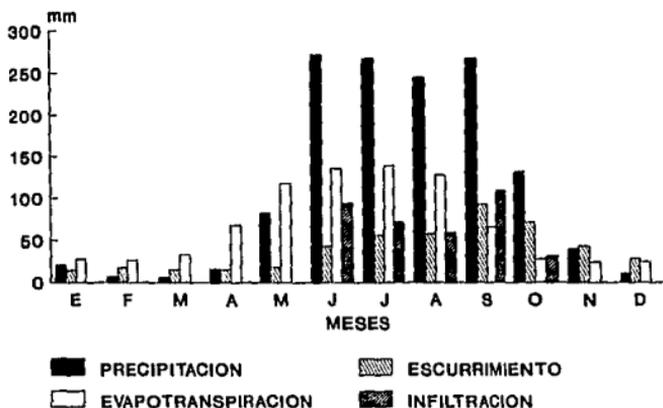
GRAFICA No. 50

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA REAL DE ARRIBA



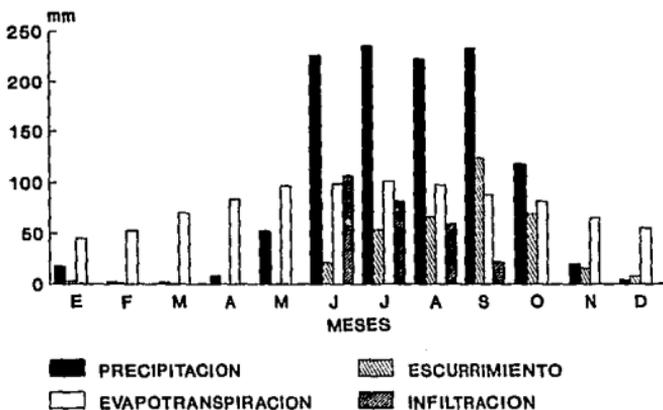
GRAFICA No. 51

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA PASO DEL COBRE



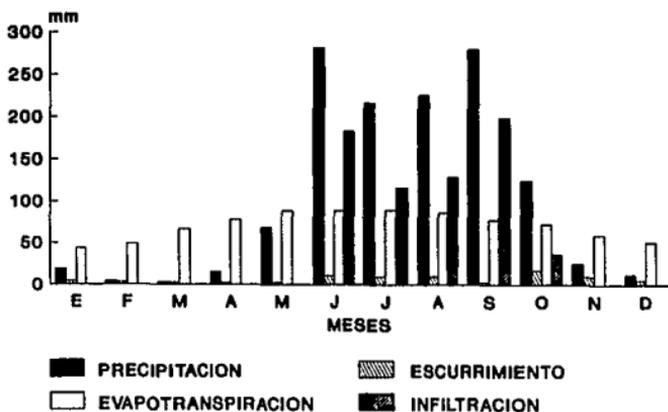
GRAFICA No. 52

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO



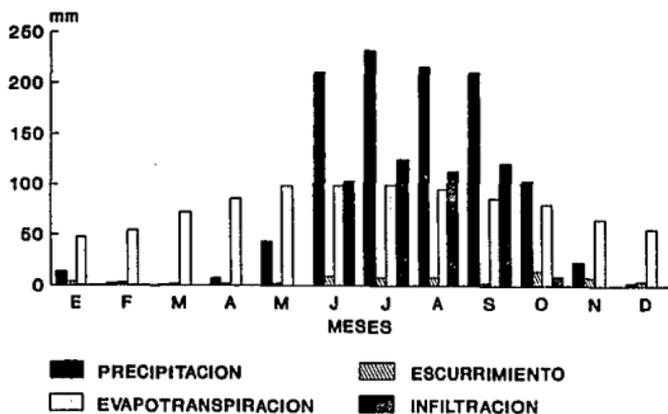
GRAFICA No. 53

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA PASO DEL RAYAN



GRAFICA No. 54

COMPORTAMIENTO MENSUAL DEL BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA LOS PINZANES



GRAFICA No. 55

VI UNIDADES GEOECOLOGICAS

En esta sección se identifican y relacionan los procesos y fenómenos que caracterizan los diferentes medios de la cuenca con el fin de comprender su forma operativa. La identificación de estos medios naturales se denomina "Unidades Geoecológicas".

Las unidades geoecológicas son el producto final de un proceso de integración de factores rectores de la naturaleza, que en el capítulo de síntesis nos llevará a ver la estructura biótica y dinámica de la cuenca como un "todo", desde la perspectiva genética y evolutiva de la misma.

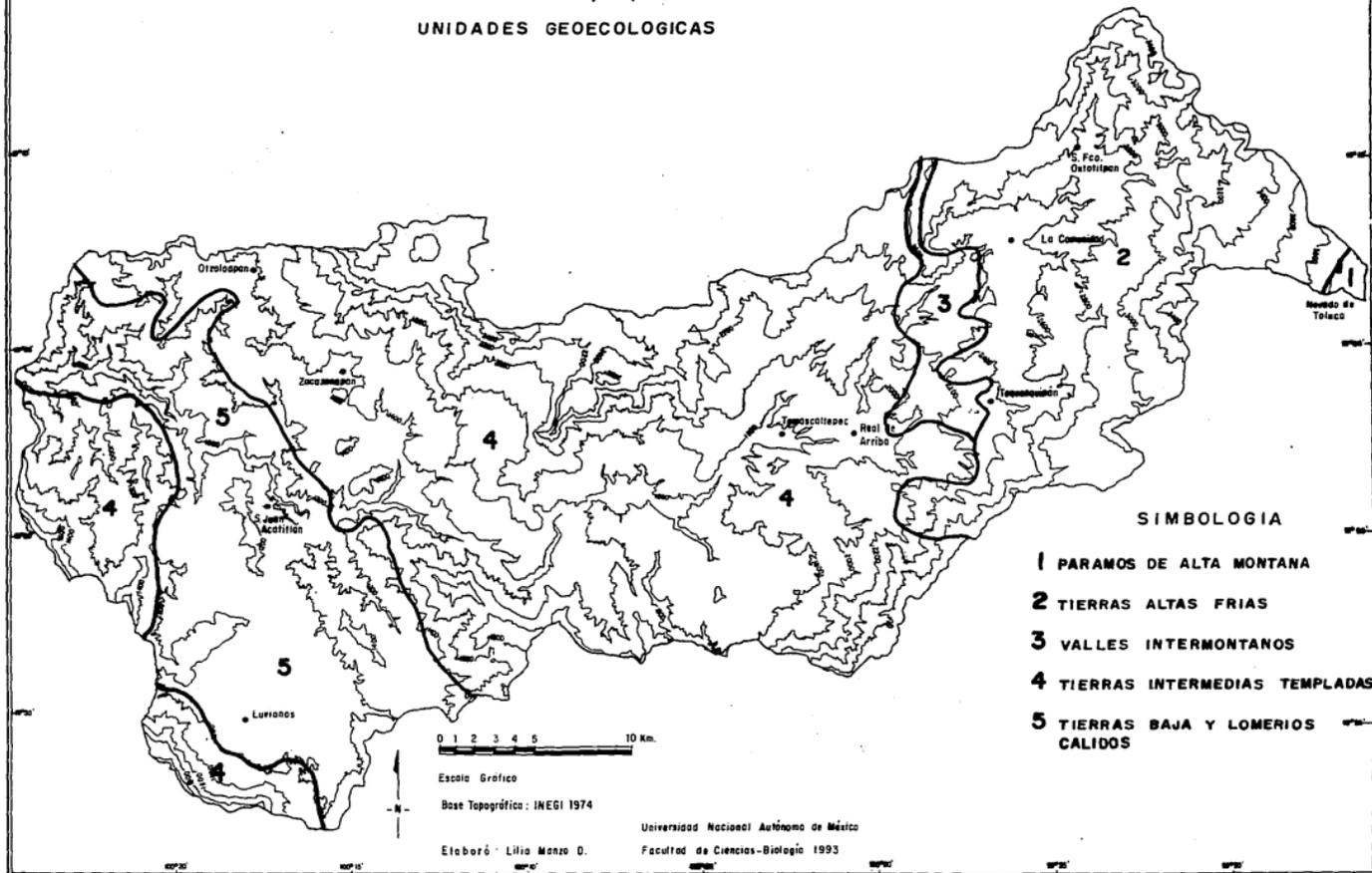
Las unidades geoecológicas identificadas para la zona en estudio son:

1. Páramos de alta montaña
2. Tierras altas frías
3. Valles intermontanos
4. Tierras intermedias templadas
5. Tierras bajas y lomeríos cálidos

La distribución de éstas se presenta en el Mapa de Unidades Geoecológicas y se describen a continuación:

Cuenca del río Temascaltepec, Edo. de México.

UNIDADES GEOECOLOGICAS



VI.1 UNIDAD GEOECOLOGICA PARAMOS DE ALTA MONTAÑA

Esta unidad se encuentra por arriba de los 4 000 msnm, en el flanco occidental del volcán Nevado de Toluca. Cubre una superficie aproximada de 320 Ha, que representan menos del 1% (0.26) de la superficie total de la cuenca en estudio. (véase Perfil Morfoclimático de la zona en estudio).

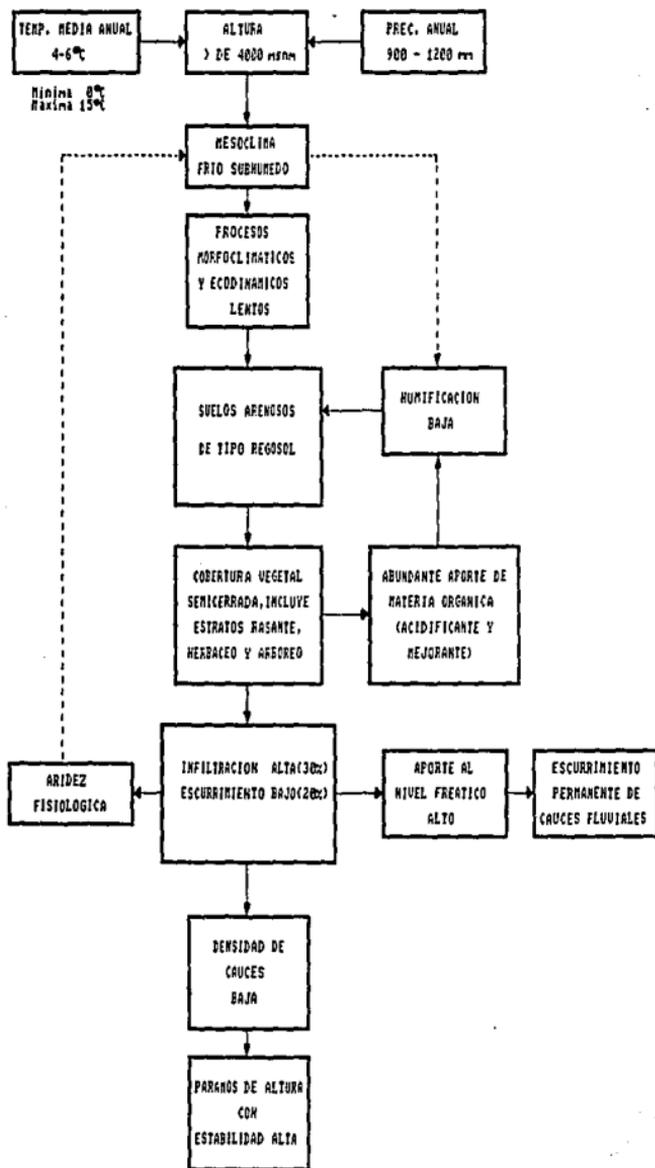
Por su posición altitudinal, esta unidad se encuentra constantemente sometida a condiciones de nubosidad que le permiten interceptar humedad durante todo el año, registrando valores alrededor de 900 a 1 200 mm. En tales circunstancias, en los meses de diciembre, enero y febrero, en los que la temperatura desciende a 2°C, se induce la formación de nieve que se funde a principios de marzo.

Las condiciones altitudinales de temperatura y de humedad limitan el desarrollo de la vegetación permitiendo, principalmente, el establecimiento de zacates amacollados que aportan grandes cantidades de materia orgánica que se humifica lentamente dando lugar a la formación de suelos arenosos de tipo regosol.

La forma en que esta unidad capta humedad propicia que la cobertura herbácea y los suelos arenosos infiltren más del 30 % del volumen de precipitación, lo cual influye para que exista un escurrimiento superficial bajo que no supere el 20 % del total mencionado. Ambos procesos, al combinarse, dejan como resultado la presencia de 3 cauces fluviales por kilómetro cuadrado, que representan una frecuencia baja.

El agua que se obtiene en marzo y abril, como producto del

DIAGRAMA 1
 UNIDAD GEOCOLOGICA PARAMOS DE ALTA MONTANA



deshielo, se infiltra rápidamente a través del suelo, produciendo una recarga importante del nivel freático, lo que contribuye a mantener el escurrimiento del arroyo La Hortaliza, con un promedio de 20 mm, y el afloramiento de diversos manantiales durante todo el año, incluso en los meses de mayor sequía.

Debido a que en esta unidad el proceso de infiltración es superior al de escurrimiento superficial, el nivel freático se beneficia constantemente, sin embargo, estas condiciones provocan una aridez fisiológica ya que el suelo no tiene propiedades para retener la humedad.

La aridez fisiológica varía dependiendo de la altitud y la pendiente del terreno, observándose que es mayor en las partes altas con pendientes escarpadas, y menor conforme disminuye la altura y se alcanzan pendientes moderadas. Esta condición influye en el establecimiento y distribución de la vegetación, encontrándose por arriba de los 4 300 msnm, elementos tales como Draba nivicola, Festuca livida y Umbilicaria sp.; entre los 4 100 y 4 300 msnm, la asociación de Calamagrostis tolucensis, y alrededor de los 4 000 msnm destaca Pinus hartwegii, que se establecen en contacto con la siguiente unidad geocológica denominada bosque de pino.

Los suelos arenosos expuestos en pendientes fuertes determinan para esta unidad un alto potencial de erodabilidad, sin embargo, éste se encuentra fuertemente estabilizado por la baja eficiencia energética que provocan las condiciones de nubosidad y el agua de escurrimiento, que están bien controladas por una infiltración rápida que disminuye el escurrimiento

superficial y, por tanto, genera una velocidad erosiva baja que mantienen el páramo de altura en una estabilidad alta.

La unidad geocológica de páramo de altura capta la humedad y la infiltra durante todo el año, lo cual mantiene la recarga del nivel freático, cuyo surgimiento otorga beneficios a unidades inferiores, ya sea mediante escurrimiento superficial o subterráneo, ya que provee de humedad al bosque de pino, especialmente en la época de sequía.

Las alteraciones físicas que se presenten en esta unidad modificarán su función y podrán repercutir en la estructura del bosque de pino.

VI.2 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS ALTAS FRIAS

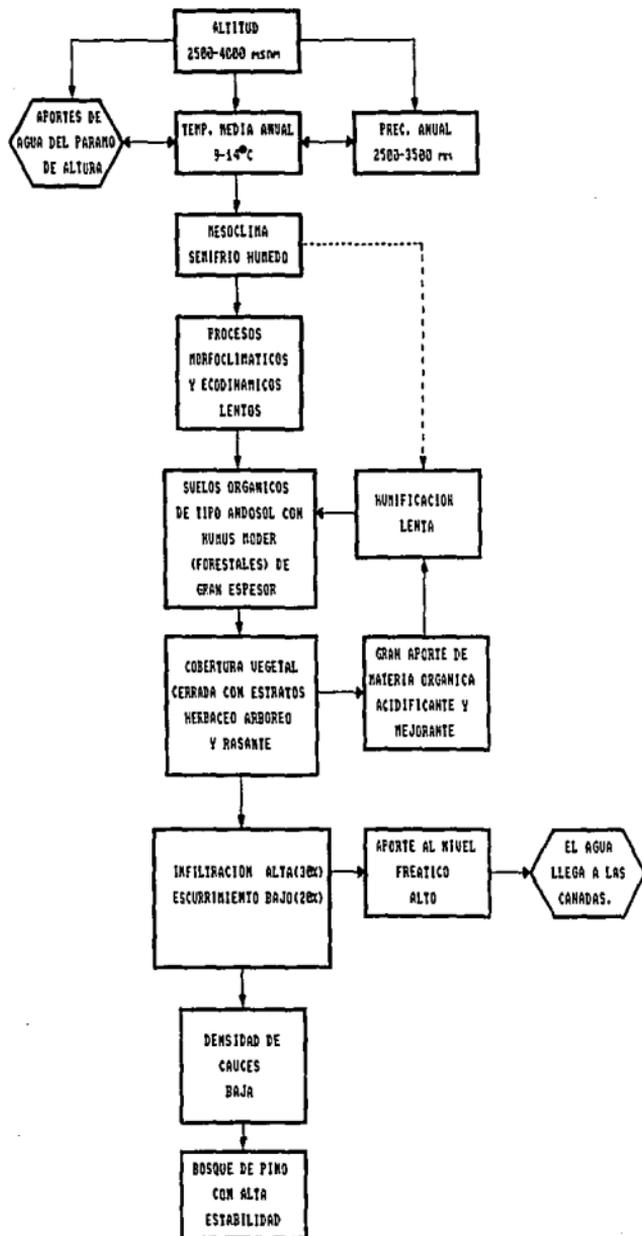
Esta unidad se encuentra entre los 2 500 y 4 000 msnm, en la ladera oriental del volcán Nevado de Toluca, por abajo del páramo de alta montaña. Cubre una superficie, aproximadamente, de 28 560 Ha que representan el 23.3% de la cuenca en estudio (véanse Perfil Morfoclimático y Diagrama 2).

Por su altitud, esta unidad capta el agua mediante dos formas: una por las precipitaciones pluviales que se mantienen por un periodo de 7 meses, desde mayo hasta noviembre, que registran anualmente alrededor de los 1 300 mm; la otra representada por los aportes subterráneos que provienen de la unidad de páramo de alta montaña, que se reciben durante todo el año, siendo más significativos los que se reciben en los meses más secos, que son febrero y marzo. Ambos aportes permiten mantener un ambiente húmedo que crea condiciones ambientales higrofilicas.

Las condiciones altitudinales establecen un intervalo de temperatura promedio entre 9 y 14°C, con oscilación térmica menor de 5°C. Tales circunstancias, asociadas a un ambiente húmedo, determinan el establecimiento del bosque de pinos, el cual proporciona un aporte continuo de materia orgánica altamente celulósica (de tipo moder), que se somete a una humificación lenta, dando lugar a suelos profundos de tipo andosol.

Las lluvias que se presentan en esta unidad son de tipo orográfico, por lo que, dadas las condiciones edáficas y de cobertura vegetal, la tercera parte de las precipitaciones pluviales es absorbida eficientemente por el suelo, y, por tanto,

DIAGRAMA No. 2
 UNIDAD GEOECOLOGICA DE TIERRAS ALTAS FRIAS.



disminuye la formación de cauces superficiales. Ambos comportamientos dan lugar a una formación de cauces baja, registrándose menos de seis por kilómetro cuadrado (frecuencia baja).

Tales condiciones representan un aporte importante al nivel freático que alimenta diversos arroyos que confluyen en el río La Comunidad, el cual mantiene un gasto anual entre 20 y 57 mm.

En esta unidad el factor altitudinal es causa de cambios notables en la variación de temperatura, lo que influye para que se establezcan tres comunidades de pinos: por arriba de los 3 500 domina *Pinus hartwegii*; entre los 3 000 y 3 500 se encuentra *Abies religiosa*; y finalmente, en el intervalo de 2 500 a 3 000 msnm, se presentan varias especies entre las que destacan *Pinus ayacahuite*, *P. rudis* y *P. montezumae*.

El límite inferior de esta unidad está definido por cañadas de variada profundidad, en donde se recoge el agua excedente captada en esta unidad y en la de páramo de altura, dando lugar al trayecto final del río La Comunidad y los arroyos Palo Amarillo y Palo Ancho Verde, en cuya confluencia tiene inicio el río Temascaltepec, que aporta anualmente alrededor de 57.3 millones de m³ equivalentes a 269.5 mm.

Esta unidad registra un amplio intervalo de pendientes que generan dos procesos potenciales de erodabilidad; uno alto asociado a pendientes abruptas y otro moderado en pendientes ligeras; sin embargo, ambos casos se encuentran fuertemente estabilizados por la baja eficiencia energética que generan las lluvias orográficas, lo que, además, está bien controlado por una

cobertura cerrada y por un suelo orgánico que absorbe rápidamente el agua, lo que contribuye a disminuir la erosión, logrando, finalmente, una estabilidad alta.

Las características geocológicas de esta unidad la identifican como la cabecera hídrica de la cuenca, por lo que en menos de la cuarta parte de la superficie total es posible captar el agua que da lugar a la formación del río Temascaltepec, cuyo caudal se mantiene durante todo el año.

VI.3 UNIDAD GEOECOLOGICA VALLES INTERMONTANOS

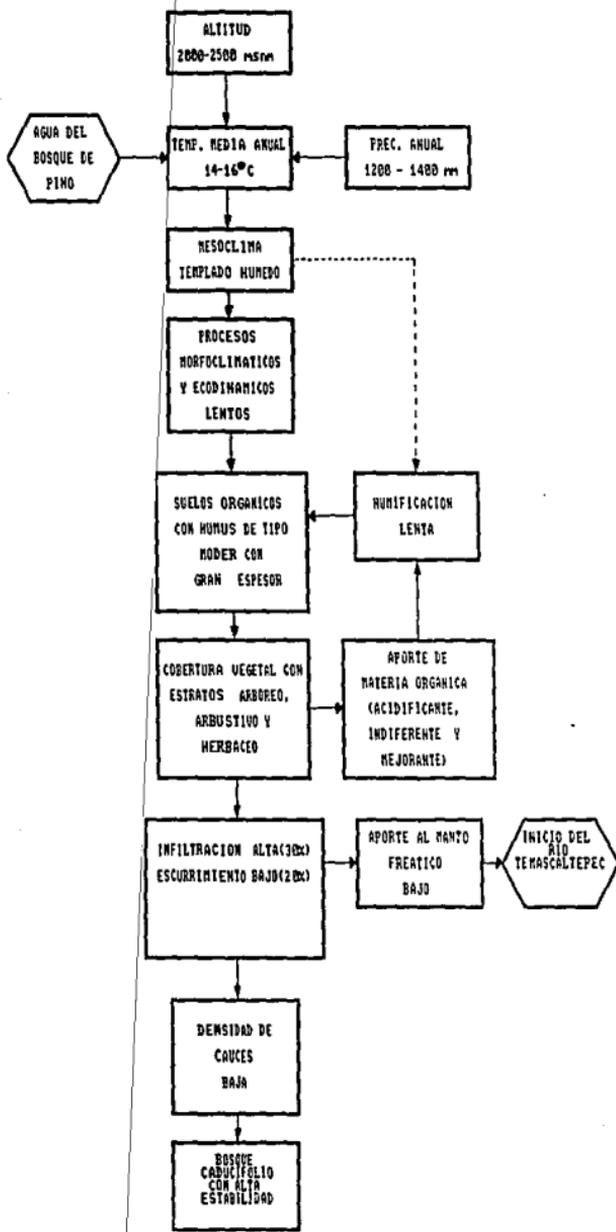
Esta unidad se encuentra entre los 2 000 y los 2 500 msnm, en las cañadas que forman el río La Comunidad y los arroyos Palo Amarillo y Palo Ancho. Representa el límite inferior de la unidad geocológica bosque de pinos y de la ladera oriental del volcán Nevado de Toluca. Cubre una superficie aproximada de 3 400 Ha, que equivalen al 2.8% de la cuenca en estudio (véase Perfil Morfoclimático y Diagrama 3).

Las cañadas constituyen una "ruptura de pendiente" originada por un contacto lítico entre basaltos cuaternarios y andesitas del terciario. La diferencia de materiales volcánicos, expuestos en áreas estrechas, ha ocasionado la interrupción del flujo subterráneo y superficial que proviene de las unidades páramos de alta montaña y tierras altas frías, obligando a que el agua reconozca los cauce que forman el río La Comunidad y los arroyos Palo Amarillo y Palo Ancho, como punto final de su recorrido.

Los escurrimientos que llegan a las cañadas varían dependiendo de las condiciones de precipitación que se registran en las unidades superiores, observándose, por tanto, que el mayor aporte se efectúa de junio a septiembre, con un volumen mensual aproximado de 35 mm, que se reduce paulatinamente hasta mantenerse alrededor de los 15 mm, como promedio mensual.

Por la forma estrecha y deprimida de esta unidad, los vientos locales circulan, en el transcurso del día, hacia las partes altas, y por la tarde regresan a las partes bajas. Este desplazamiento permite que al ascender absorban humedad que se precipita en el periodo descendente. Este comportamiento es una

DIAGRAMA 3
 UNIDAD GEOECOLOGICA VALLES INTERMEDIOS.



contribución para que la humedad que prevalece se recicle "constantemente" en la misma unidad, lo cual mantiene un ambiente húmedo por más tiempo, registrándose un volumen anual entre 1 200 y 1 400 mm.

Este tipo de relieve también ofrece protección a la insolación, manteniendo una temperatura promedio anual entre 14 y 16°C, con oscilaciones isotérmicas, lo que representa un factor más que contribuye a mantener la humedad ambiental, ya que las demandas de evapotranspiración se mantienen estables durante todo el año.

El relieve y la ruptura de pendiente influyen en forma determinante para que esta unidad reciba humedad y la conserve, hecho que conlleva a que el periodo húmedo se prolongue, cubriendo un lapso de tiempo que va de junio a diciembre o enero, y a que la época de sequía "relativa" se reduzca a tan solo 4 meses, entre febrero y mayo.

Bajo un ambiente húmedo y templado se presentan las condiciones óptimas para el establecimiento de un bosque caducifolio en donde se desarrollan ampliamente musgos, helechos, hongos y líquenes, y algunos elementos arbóreos que cambian su follaje en la época fría del año, ya que ésta coincide con la disminución del aporte de humedad.

El bosque caducifolio proporciona un aporte variado de materia orgánica al suelo, que se descompone y humifica lentamente dando lugar a la formación de andosoles húmicos que absorben y retienen el agua eficientemente y que también participan en el mantenimiento de la humedad ambiental y, por

otra parte, disminuyen el escurrimiento superficial, el cual registra menos de seis cauces por kilómetro cuadrado.

Las pendientes moderadas y fuertes que identifican a esta unidad determinan un alto potencial de erodabilidad, sin embargo, éste se encuentra fuertemente estabilizado por la baja eficiencia energética de la precipitación, que está bien controlada por la cobertura cerrada del bosque caducifolio y por el suelo orgánico que absorbe rápidamente el agua, hechos que le confieren una alta estabilidad.

Las características geoecológicas de esta unidad constituyen el límite final de la trayectoria superficial y subterránea del agua que se capta en el bosque de pinos y el páramo de altura, la cual sigue su curso, en forma superficial, por el río Temascaltepec. Su estructura y función dependen de la humedad que recibe de las unidades superiores, y de la capacidad que tiene para retenerla y reciclarla. Por tanto, los desequilibrios hídricos que se registren en el bosque de pino o en el páramo provocarán la disminución del aporte de humedad, lo cual repercutirá en la modificación de su estabilidad.

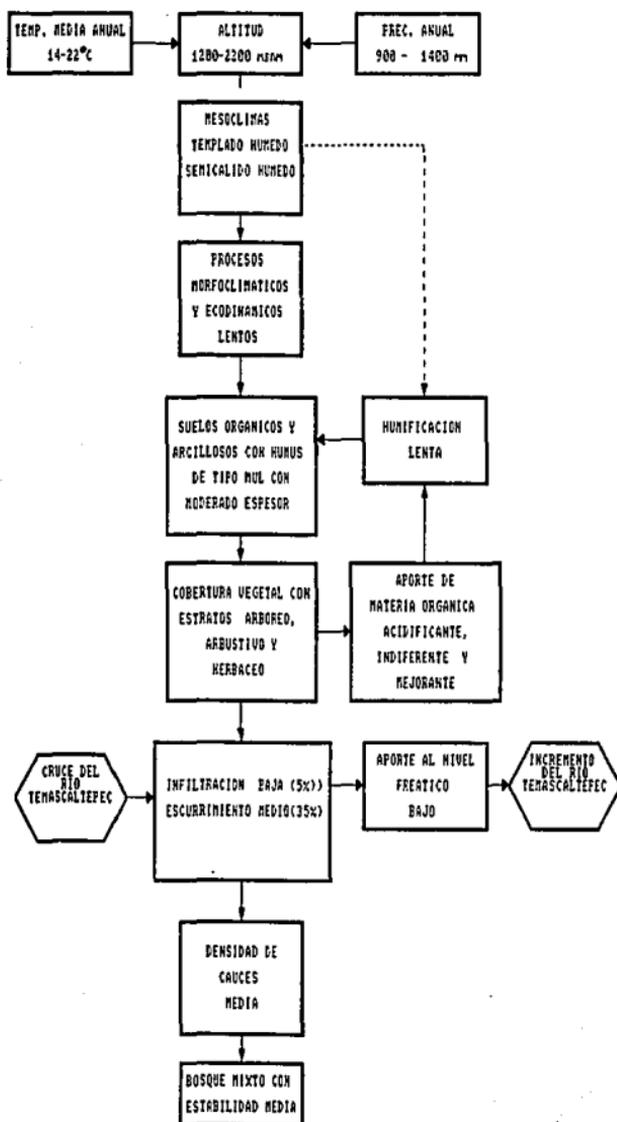
VI.4 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS INTERMEDIAS TEMPLADAS

Esta unidad se extiende entre los 1 200 y 2 200 msnm, cubriendo toda la parte media y algunas elevaciones de la parte baja. Abarca una superficie aproximada de 65 500 Ha que representan el 53.5 % de la cuenca en estudio (véanse Perfil Morfoclimático y Diagrama 4)

En el extremo oriental limita con las cañadas del río La Comunidad y los arroyos Palo Amarillo y Paso Ancho, en donde se establece el bosque caducifolio. Sin embargo, tales circunstancias representan una barrera que interrumpe la continuidad hidrodinámica entre las partes alta y la media de la cuenca, ocasionando que los aportes subterráneos que se captan en la "cabecera hídrica" no se transmitan a otras unidades, lo que trae como consecuencia que el bosque mixto no reciba excedentes hídricos en la época de sequía.

En la porción norte de esta unidad se encuentra la Sierra de Temascaltepec, cuyas elevaciones alcanzan los 2 600 msnm; por otra parte, en el suroeste y sureste se encuentran estribaciones montañosas, que rebasan los 1 800 msnm, que forman parte de algunas sierras que se extienden hacia el sur, como, por ejemplo, la de Nanchititla. La orientación que guardan estas montañas ocasiona que los vientos locales se eleven dando lugar a la formación de precipitaciones convectivas y orográficas, lo que da como resultado tres áreas con diferente captación pluvial: una en la parte media, en donde anualmente se reciben más de 1 400 mm; otra en la porción occidental, en donde se capta menos de 1 000 mm, y el resto del área, cuya percepción fluctúa entre

DIAGRAMA 4
 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS INTERMEDIAS TIENPLADAS



1 300 y 1 400 mm. En estas circunstancias, las lluvias se concentran en un periodo que fluctúa de 5 a 6 meses, entre mayo y octubre, que representa el 93 % del agua que cae en esta unidad.

La distribución de la precipitación, asociada a temperaturas promedio que fluctúan entre los 14 y 22°C, con oscilación isotérmica, determinan la presencia del bosque mixto de pino - encino. Sin embargo, las diferencias altitudinales y del relieve originan variaciones morfoclimáticas que controlan el establecimiento y distribución de las comunidades vegetales, observándose que, por arriba de los 1 800 msnm, se mantiene la condición templada que permite a los pinos dominar sobre los encinos; entre 1 200 y 1 800 se registran condiciones semicálidas, lo que hace factible que los encinos, por su poder de adaptación a condiciones más secas, dominen sobre los pinos; un tercer caso está representado en las elevaciones que se encuentran alrededor de los 1 200 msnm, en donde se registra un aumento de la temperatura y una ligera reducción de las precipitaciones, que crean una condición cálida subhúmeda, en donde se establecen exclusivamente los encinos, ya que pueden resistir periodos más prolongados de sequía.

La mezcla de elementos del bosque mixto de pino-encino proporciona un aporte variado de materia orgánica que se descompone y humifica lentamente dando lugar a la formación de dos grupos de suelos: los orgánicos, como los andosoles y feozem que se desarrollan en pendientes fuertes, o como los litosoles y regosoles, que se encuentran en pendientes escarpadas. El segundo grupo está formado por suelos arcillosos tales como cambisoles,

acrisoles y vertisoles que se desarrollan en pendientes ligeras y moderadas.

Los dos grupos de suelos confieren a esta unidad características morfoclimáticas variables, permitiendo que los orgánicos absorban y retengan por más tiempo el agua y, por ende, que predomine la infiltración, en tanto que los arcillosos mantienen un límite de saturación en la época húmeda, que cambia o desaparece en la época seca dando lugar al dominio de los escurrimientos superficiales. Tales características contribuyen al establecimiento general de una red fluvial con frecuencia promedio que fluctúa entre 7 y 13 cauces por kilómetro cuadrado, en la que las partes altas tienden a infiltración.

La estacionalidad del periodo pluvial y la ausencia de aportes de agua subterráneos de otras unidades son los responsables de que los arroyos Los Quelites, Las Anonas y La Laja registren un escurrimiento escaso o nulo en la época de sequía. Al respecto, cabe aclarar que los ríos El Chilero y La Mina de Fierro, ubicados en la porción sur de la unidad, no siguen este proceso, por lo que se considera que reciben aportaciones subterráneas de las serranías que se extienden hacia el sur.

El hecho de que esta unidad presente un mayor número de cauces influye para que el 34.86% del agua que cae se escurra, y que sólo el 5% se infiltre. La combinación de ambos procesos contribuye, por un lado, a que el río Temascaltepec aumente su volumen en la temporada lluviosa; sin embargo, por otra parte, restringe la posibilidad de enriquecimiento del nivel freático.

Las características edáficas e hídricas, al asociarse con pendientes que van de ligeras a escarpadas, imprimen a esta unidad un proceso potencial de erodabilidad alto, generado por la gran eficiencia energética de las lluvias convectivas, que logra estabilizarse parcialmente debido a la presencia de la cobertura semicerrada o cerrada que forma el bosque de pino-encino, lo que permite disminuir parcialmente el efecto energético, otorgando una estabilidad moderada a este geosistema.

Por tanto, si se redujera o eliminara la cobertura vegetal, se induciría un desequilibrio en la organización del escurrimiento y se desencadenarían problemas de erosión, ya que el suelo por sí solo no tiene la suficiente capacidad para amortiguar la fuerza energética de la precipitación.

Las características geocológicas de esta unidad infieren un uso estacional del recurso hídrico.

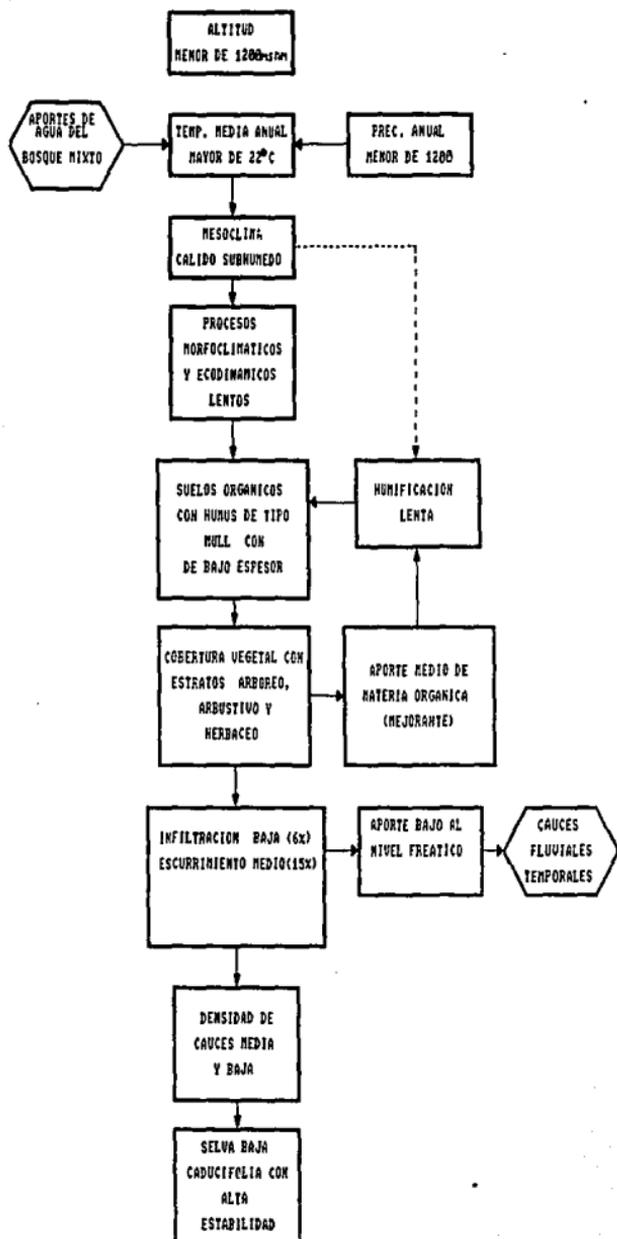
VI.5 UNIDAD GEOECOLOGICA TIERRAS BAJAS Y LOMERIOS CALIDOS

Esta unidad se encuentra por abajo de los 1 200 msnm, en una superficie aproximada de 24 720 Ha, que representa el 20.2 % de la cuenca en estudio. Se establece en continuidad con la unidad geoeológica tierras intermedias templadas (véanse Perfil Morfoclimático y Diagrama 5).

Esta unidad constituye un valle ondulado, con pendientes ligeras y moderadas, rodeado por elevaciones que alcanzan los 1 600 msnm, que le permiten captar el agua de dos modos: uno es por las precipitaciones pluviales de tipo convectivo que se mantienen por un periodo de 5 meses, de junio a octubre, que registran anualmente menos de 1 200 mm; otro está representado por los aportes subterráneos que provienen de la unidad de bosque mixto de pino encino, que también se reciben en la temporada lluviosa, lo que ocasiona que la temporada de sequía sea más marcada.

Las mismas características morfoclimáticas influyen para que se registren temperaturas promedio mayores a 22°C, con oscilaciones que rebasan los 5°C, que al asociarse con el periodo de lluvias determinan el establecimiento de la selva baja caducifolia, cuyos cambios fenológicos significan un proceso de adaptación a las condiciones climáticas.

Debido a que las especies vegetales pierden el follaje en el otoño, el suelo sólo recibe aportes de materia orgánica en una época del año, elemento que se descompone y humifica lentamente dando lugar a la formación de dos tipos de suelos: los que tienen una capa orgánica superficial, como los regosoles, que se



establecen en la porción norte y sureste, sobre pendientes fuertes, y los feozem, asociados a pendientes moderadas; el otro tipo de suelos son los cambisoles, que presentan moderados contenidos de arcilla, mismos que se establecen principalmente en la porción sur, sobre pendientes ligeras.

Así mismo, las propiedades físicas de los regosoles permiten mayor retención y almacenamiento de agua, favoreciendo que el 26% de la precipitación se infiltre, lo que incrementa el volumen del nivel freático y repercute en un menor escurrimiento superficial que da origen a una densidad de drenaje que fluctúa entre 2.8 y 3.6 Kilómetros por kilómetro cuadrado. Al respecto, se observó que las elevaciones que se sitúan en la porción sureste, aunque presentan las mismas características edáficas no siguen este mismo comportamiento hídrico, ya que la densidad de cauces se incrementa entre 3.6 y 4.4 Km/km², considerándose que esto se debe a que las precipitaciones que se registran en esta área imponen mayor eficiencia energética que, a la larga, repercute en una mayor erosión fluvial.

Entre las propiedades de los cambisoles se encuentra que presentan problemas de saturación de agua, dando lugar a la formación de llanuras de inundación o a escurrimientos superficiales en áreas con pendientes moderadas. Tales características dan lugar a una red de drenaje fluvial, semejante a la que presentan los regosoles, que fluctúa entre 2.8 y 3.6 cauces por kilómetro cuadrado, considerándose que esto se debe a que en ambas partes la eficiencia energética de la precipitación es la misma. Sin embargo, para esta área el flujo hídrico es más

rápido, ya que el 30% del agua que cae en el área se pierde por escurrimiento dando lugar al incremento del gasto temporal del arroyo Chiquito y el río de Los Sabinos, los que proporcionan un promedio de 120 mm en el mes de septiembre, que representa la tercera parte de su volumen anual, lo cual significa un buen aporte al río Temascaltepec en la temporada lluviosa.

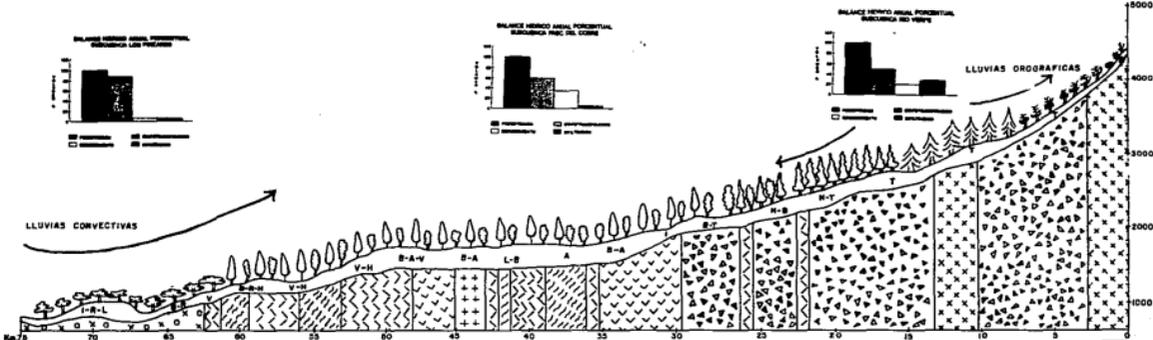
Esta unidad presenta un alto potencial de erodabilidad generado por la alta eficiencia energética de las lluvias convectivas que sólo puede ser controlada cuando la vegetación logra alcanzar una cobertura cerrada, en tanto que, al presentarse en la época invernal o a principios de la temporada lluviosa, se generan escurrimientos superficiales y bajos procesos de erosión que, a la larga, condicionan una alta estabilidad.

La eliminación de cobertura vegetal deja al descubierto el suelo, que, por sí solo, no tiene la suficiente capacidad para amortiguar la eficiencia energética de la precipitación. Por tanto, si se encuentra desprotegido en la temporada lluviosa se acelerarán los procesos de erosión y la pérdida de suelo, contribuyendo también al desequilibrio.

Las características geoecológicas de esta unidad y su comportamiento hídrico la identifican como transitoria, ya que recibe pocos aportes de la unidad adyacente, no puede almacenar suficiente agua y sus aportes al nivel freático son medios o bajos.

PERFIL MORFOCLIMATICO DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC. EDO. DE MEXICO

I A CALIDO SUBHUMEDO	II S SEMICALIDO HUMEDO	III S TEMPLADO HUMEDO	IV SEMIPRIDO HUMEDO	V A FRIO SUBHUMEDO
TIERRAS BAJAS Y LOMEROS CALIDOS	TIERRAS INTERMEDIAS TEMPLADAS		VALLES INTERMEDIOS	TIERRAS ALTAS FRIAS
				PARAMO DE ALTA MONTAÑA



SIMBOLOGIA

VEGETACION

- SELVA BAJA CADUCIFOLIA
- BOSQUE MIXTO DE PINO-ENCINO
- BOSQUE CADUCIFOLIO
- PINARES
- BOSQUE DE OYAMEL
- BOSQUE DE PICEA *Parícuti*
- VEGETACION DE PARAMOS DE ALTURA

SUELOS

- | | | | |
|---|----------|---|----------|
| A | ACRISOL | L | LUVISOL |
| B | CAMBISOL | R | REGOSOL |
| M | FEZEM | T | ANDOSOL |
| I | LITOSOL | V | VERTISOL |

LITOLOGIA

- | | |
|----------|------------------|
| BASALTO | ANDESITA |
| RIOLITA | BRECHA VOLCANICA |
| ESQUISTO | METAVOLCANICA |
| GRANITO | |

MATERIAL IGNEO ANTIGUO TRIASICO JURASICO	MATERIAL IGNEO RECIENTE Y METAMORFICO ANTIGUO MESOZOICO Y CUATERNARIO	LIT. NEOVOLCANICO
SUELOS DELMADO DEBARRADOS QUE HAN PERDIDO LOS HORIZONTES ORGANICO Y MINERAL.	SUELOS CON MAYOR DESARROLLO, RICOS EN MATERIA ORGANICA Y ARCILLAS	SUELOS CON POCO DESARROLLO PEDOGENETICO
VEGETACION CON INFLUENCIA NEOTROPICAL CON ELEMENTOS CADUCIFOLIOS	VEGETACION CON INFLUENCIA NEOTROPICAL Y MONTANA CON ELEMENTOS CADUCIFOLIOS Y PERENIFOLIOS	VEGETACION CON INFLUENCIA MONTANA CON ELEMENTOS PERENIFOLIOS
DEBIDAD DE CAUCES FLUVIALES MEDIA Y BAJA	DENSIDAD DE CAUCES FLUVIALES MEDIA	DENSIDAD DE CAUCES FLUVIALES BAJA
BAJA VELOCIDAD DE EROSION HIDRICA	MODERADA VELOCIDAD DE EROSION HIDRICA	BAJA VELOCIDAD DE EROSION HIDRICA
ALTA ESTABILIDAD MORFOCLIMATICA	MODERADA ESTABILIDAD MORFOCLIMATICA	ALTA ESTABILIDAD MORFOCLIMATICA

VII SINTESIS DE LA GEOCODINAMICA DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC DURANTE EL HOLOCENO.

De acuerdo con la caracterización de las unidades geocológicas se corroboraron algunas de las observaciones geomorfológicas efectuadas por Heine en 1976, en el volcán Nevado de Toluca. Dicha información permitió mejorar la explicación del modelo de evolución geocodinámica de la zona, identificando, además, las tendencias y la problemática que causan en la estabilidad ecológica de la cuenca del río Temascaltepec.

Por lo anterior, se puede decir que en el holoceno, en la cima del páramo de alta montaña se registraron tres fases glaciales que generaron influencias frías y húmedas en las unidades geocológicas de las tierras altas frías y las intermedias templadas.

Según Heine, la primera y más importante fase glacial del holoceno se presentó alrededor de 8 500 a 9 000 años antes del presente (A.P.); la segunda, entre los 2 000 y 3 000 años A.P., y la tercera se registró en el siglo XIX, siendo relativamente muy corta, aproximadamente 50 años, por lo que se ha considerado insignificante.

Según el mismo autor no existen grandes registros de formas glaciares anteriores al holoceno, por lo cual es posible que durante el pleistoceno tardío y en el holoceno temprano, las temperaturas, si bien fueron frías, de acuerdo con las comunidades de pináceas de afinidad neártica, los ambientes siempre fueron secos y, por ello, no se produjeron masas glaciares importantes.

Considerando las aseveraciones anteriores, así como las características morfoclimáticas que presentaron las unidades geocológicas de la zona en estudio, en las fases glaciales y sus periodos interglaciales, se puede afirmar que los cambios registrados afectaron la eficiencia energética de la precipitación, el desarrollo del suelo y el ascenso y descenso de las comunidades vegetales afectando la variación de la capacidad de amortiguamiento de la cobertura vegetal, repercutiendo, todo ello, en la velocidad de los procesos de erosión en la cuenca.

Los resultados interpretados son los siguientes:

- Primera Fase Glacial (8 000 - 9 000 años A.P.)

En esta fase se originaron cambios regionales de humedad (Spurr, 1982), provocando que el volcán Nevado de Toluca fuera afectado en su mayor parte, ocasionándose por ello grandes glaciares con depósitos morrénicos, sin embargo la vertiente noroccidental, donde se extiende la cuenca del río Temascaltepec, fue menos afectada por quedar a sotavento de la influencia del aire húmedo, ya que entonces, como ahora, tenía su fuente en el Golfo de México.

En tales condiciones, la isoterma menor a 0°C descendió alrededor de los 3 000 msnm, originando algunas formas glaciares muy pobres. Por abajo de dicho límite la influencia fría del ambiente glaciario superior se extendió con tendencia al oeste, rebasando los límites inferiores de la cuenca del río Temascaltepec.

El incremento de humedad registrado en esta fase ocasionó un aumento general de la precipitación, dando lugar a que las

tierras bajas y los lomeríos recibieran un mayor volumen.

Dichas condiciones climáticas favorecieron el descenso de los elementos de origen neártico, que desde el páramo de altura bajaron, con los bosques boreal y templado, hasta los 800 msnm, cubriendo gran parte de la cuenca.

El movimiento de las comunidades vegetales se realizó a velocidad menor que la de los cambios climáticos, provocando un desajuste entre la disminución de la capacidad de amortiguamiento de la cobertura vegetal y el incremento de la eficiencia energética de la precipitación, favoreciendo con ello procesos de erosión hídrica acelerada y consecuentemente mayor desarrollo de la red de drenaje, sobre todo en las tierras bajas por lo que se considera que la gran densidad de drenaje actual se formó en esa época. El páramo de alta montaña y las tierras altas frías, por estar cubiertas con hielo, registraron una baja velocidad de erosión, propiciando menor desarrollo de la red de drenaje fluvial.

El incremento de humedad también benefició el desarrollo de los suelos, empero, por el frío hubo una reducción de los procesos de mineralización de la materia orgánica, provocando el aumento de la humificación, favoreciendo el desarrollo de los andosoles en las tierras altas y los feozem en las tierras intermedias. Los suelos de las tierras bajas y los lomeríos, por recibir más precipitación en condiciones más cálidas registraron mayor lixiviación, originándose la formación de luvisoles y Acrisoles.

Estos suelos posteriormente fueron erosionados, de manera

que sólo los andosoles dominan aún en la mencionada unidad; de los feozems unicamente, únicamente se conservan algunos relictos al suroeste de San Pedro Tenayac y al norte de San Lucas del Maíz Edo. de Méx.; de los luvisoles y acrisoles, se localizan algunos vestigios en las estribaciones de la Sierra Nanchititla, al oeste de Luvianos y al noroeste de Acatitlán.

- Primer Periodo Interglacial (entre 8 000 y 3 000 años A.P.)

Al término de la fase glacial anterior, que culminó alrededor de los 8 000 años A.P., tuvo lugar el avance de un periodo cálido subhúmedo que se prolongó hasta 3 000 años antes del presente.

Durante esta época las temperaturas se incrementaron permitiendo que la influencia tropical ascendiera aproximadamente hasta los 2 000 m, ocasionando una disminución general de la humedad de la cuenca, excepto en su centro, donde se formó una zona de alta humedad.

Tales condiciones provocaron el retroceso del páramo de altura y los bosques boreales y templados, permitiendo que los elementos neotropicales, representados por la selva baja caducifolia, avanzaran desde el umbral inferior de la cuenca, logrando penetrar hasta los valles intermontanos.

En esta etapa los suelos de las tierras altas incrementaron los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica, favoreciendo el desarrollo de los feozem a partir de los andosoles y cambisoles. Actualmente algunos ejemplos se encuentran en los alrededores de Tequesquipán. Los suelos de las

tierras intermedias y bajas, con excepción de los ubicados en la zona de alta húmeda, estuvieron sometidos a menor lixiviación, dando lugar a la estabilidad de los luvisoles, acrisoles y vertisoles.

La baja humedad provocó la disminución de la eficiencia energética de la precipitación, excepto en la zona de alta humedad, provocando la reducción de los procesos de erosión y el desarrollo de la red de drenaje.

Igual que en la fase anterior, el desplazamiento de la vegetación no coincidió con las modificaciones climáticas, sin embargo como la eficiencia energética de la precipitación fue menor, la cobertura de la vegetación amortiguó perfectamente la velocidad de erosión, influyendo en la baja formación de cauces fluviales.

Al quedar desprovistos de hielo el páramo de alta montaña y las tierras altas frías, dominó un sustrato arenoso en donde se desarrolló baja velocidad de erosión que generó sólo una incipiente red de drenaje.

Esta interfase cálida subhúmeda fue interrumpida por una segunda fase glacial, de menor intensidad que la primera, entre los 2 000 y 3 000 años.

- Segunda Fase Glacial (entre 2 000 y 3 000 años A.P.)

En esta fase el ambiente frío descendió nuevamente estableciendo temperaturas inferiores a 0°C, alrededor de los 3 000 msnm, originando, por segunda vez, formas glaciares identificadas como morrenas.

Por la menor intensidad del frío, el avance logrado por las

comunidades vegetales neotropicales, en la interfase cálido subhúmeda, se afectó ligeramente generándose un descenso moderado de los elementos boreales y templados, especialmente los géneros Pinus y Quercus, así mismo, algunos elementos de la selva baja caducifolia permanecieron restringidos a las cañadas de los valles intermontanos.

La eficiencia energética de la precipitación se incrementó nuevamente en las tierras medias y bajas, logrando la aceleración de la erosión y mayor desarrollo de la red fluvial.

En los suelos de las tierras altas se incrementó la humificación, logrando mayor profundidad en los andosoles; las tierras intermedias y bajas fueron sometidas nuevamente a mayor volumen pluvial, lo que incrementó la lixiviación dando lugar a la formación de los vertisoles y cambisoles.

Al término de esta fase fría húmeda se inició la interfase cálida subhúmeda que es la que domina hasta nuestros días. Dentro de ésta en el siglo XIX se registró una tercera fase glacial que duró tan sólo 50 años, por lo que se consideró insignificante.

- Segundo Periodo Interglacial (desde 2 000 A. P. hasta la época actual)

Aproximadamente a partir de los últimos 2 000 años se inició nuevamente un periodo cálido y subhúmedo ocasionando, otra vez, el retroceso de los elementos neárticos representados por los pinares, el bosque de oyamel y los zacatonales del páramo de altura, y el avance de los elementos neotropicales identificados como parte de la selva baja caducifolia.

Los desplazamientos de la vegetación ocurridos en las fases e interfases glaciales formaron en la unidad geocológica de tierras intermedias templadas un amplio ecotono de elementos neárticos y neotropicales representado por un bosque mixto de pino-encino. Asimismo los encinos que se encuentran actualmente alrededor de los 1 000 msnm, en la elevaciones ubicadas al oeste de Acatitlán, muy probablemente se establecieron durante la primera fase glacial, sin embargo por su capacidad de resistencia a la sequía, en la siguiente interfase glacial parte de ellos se adaptaron a las condiciones cálidas y subhúmedas de la cuenca baja. El resto de dicha comunidad se desplazó, junto con el bosque templado, alcanzando las laderas que rodean Tequesquipán a 2 500 msnm.

Los suelos que dominan actualmente en la zona en estudio son producto de las variaciones de los procesos de humificación, mineralización y lixiviación que existieron en las interfases y fases glaciales. Los suelos de las tierras bajas e intermedias estuvieron sometidos a cambios bruscos de humedad que impulsaron la formación de horizontes arcillosos hasta llegar, finalmente, a la presencia de vertisoles, luvisoles y acrisoles. Los suelos de las tierras altas han estado sometidos a severos cambios de temperatura que han limitado su desarrollo dando lugar a la formación de regosoles, andosoles y feozems.

Las fases glaciales, por haber sido frías y húmedas, incrementaron la eficiencia energética de la precipitación y el escurrimiento y la evolución del drenaje fluvial, en tanto que en las interfases glaciales por ser cálidas y subhúmedas, dichos

procesos disminuyen.

La unidad geocológica de tierras baja y lomeríos cálidos ha estado expuesta a mayor volumen de precipitación lográndose, por ello, mayor desarrollo del drenaje; la unidad geocológica de tierras intermedias templadas ha estado sometida a diferentes volúmenes de precipitación que han generado una irregular velocidad de erosión que ha repercutido en un desarrollo medio de la red de drenaje fluvial.

Los valles intermontanos, las tierras altas frías y el páramo de alta montaña siempre han estado sometidas a menor volumen de precipitación dando como resultado baja velocidad de erosión, estableciendo una red de drenaje incipiente.

Del análisis se observa que durante todo el holoceno, y hasta la actualidad, a pesar de las fases glaciales, las temperaturas se han ido incrementando permitiendo que la influencia tropical avance hacia las partes altas de la cuenca.

Sólo subsisten condiciones climáticas frías subhúmedas, con nevadas en la época fría del año, en el páramo de alta montaña. Esta condición ha contribuido para que los elementos neárticos persistan aún en ella.

Finalmente, y dado que los cambios climáticos no se presentan con la misma velocidad que el desplazamiento de la vegetación, la eficiencia energética de la precipitación superó siempre la capacidad de amortiguamiento de la cobertura vegetal, en los inicios y avances del cambio climático, y fue en estos periodos cuando la erosión hídrica acelerada generó la mayor evolución morfogenética de la cuenca del río Temascaltepec.

CONCLUSIONES

El análisis realizado en este trabajo permite relacionar todos los elementos ambientales de manera integral y sistémica, haciendo posible conocer la estructura y funcionamiento de un geosistema bien delimitado tal como la cuenca del río Temascaltepec.

Una cuenca hidrográfica es un sistema abierto constituido por un complejo de elementos interactuantes cuya organización define las características morfoclimáticas que mantienen, autorregulan y permiten su estabilidad.

Con este enfoque integral ningún elemento se analizó en forma aislada, sino dentro de un proceso continuo de causas y efectos en el que cada elemento se definió en función de otros; asimismo, el comportamiento de un conjunto de elementos fue definido en relación con la unidad geocológica que los contiene, y, finalmente, el conjunto de unidades geocológicas se definió como parte del sistema hidrográfico que constituye la cuenca del río Temascaltepec.

En este trabajo el análisis climático tuvo una importancia prioritaria, ya que regula el comportamiento de los procesos físicos, químicos y biológicos, por lo que en la medida que se conoció más acerca del funcionamiento de las variables meteorológicas, con especial énfasis en la precipitación y su ciclo hidrológico, se tuvo mayor posibilidad de corroborar la interrelación que guardan los elementos ambientales y las unidades geocológicas.

Como parte medular del desarrollo del trabajo se manejaron, como indicadores ambientales, la eficiencia energética de la precipitación, la capacidad de amortiguamiento de la cobertura vegetal y la densidad de drenaje fluvial, mediante cuyo estudio se definió y precisó la organización y la jerarquía de los elementos y componentes de las unidades geoecológicas.

Partiendo de las condiciones climáticas que existieron en el transcurso del holoceno, y como una forma de proyectar los resultados obtenidos a la caracterización actual de las unidades geoecológicas, se hizo una reconstrucción de los procesos y funcionamiento que dominaron en épocas pasadas, en la zona en estudio. La validación de estas suposiciones requiere de estudios especiales de palinología, paleontología y biogeografía, entre otros, sin embargo, el grado de aproximación permite explicar algunos rasgos morfoclimáticos actuales, tales como la densidad de drenaje y la distribución de la vegetación. Asimismo consideramos que este análisis permite definir algunas tendencias sobre la estabilidad de la cobertura vegetal y la velocidad de erosión.

La realización del trabajo tuvo un fundamento cartográfico, lo que permitió tener una visión de la distribución y composición de los distintos elementos y componentes que integran el geoecosistema global; la cartografía se apoyó en varios recorridos de campo a fin de corroborar la validez de la información, y su actualización. Sin este material el análisis hubiera requerido de mayor tiempo.

Este trabajo es un ensayo metodológico que permite tener una

visión global actual, genética y evolutiva, así como formarse una idea más precisa para conservar y mantener la estructura de las comunidades vegetales, y con ello, la estabilidad de cualquier geoeosistema.

Por lo anterior se considera que la secuencia metodológica de este trabajo es factible de aplicar a distintas regiones, no sólo cuencas hidrográficas, siempre y cuando se reúna la información mínima requerida, y puede emplearse como base de diversos estudios cuyo objetivo sea la conservación integral de los recursos naturales.

Como un resumen global, a continuación se describen brevemente las cinco unidades geoeológicas que integran la cuenca del río Temascaltepec:

La primera unidad geoeológica de la zona es la del páramos de alta montaña, que alcanza la mayor altitud. Por su situación se encuentra continuamente invadida por nubosidades que descargan su humedad durante todo el año. La cobertura semicerrada que establecen los zacates amacollados, sobre suelos arenosos, interceptan eficientemente la humedad permitiendo una infiltración inmediata e impidiendo los escurrimientos superficiales.

Tales características morfoclimáticas generan baja velocidad de erosión hídrica y otorgan alta estabilidad a la unidad. El funcionamiento de ésta representa un aporte continuo al nivel freático, manteniendo el escurrimiento de los manantiales, ríos y arroyos que irrigan la unidad geoeológica contigua denominada tierras altas frías.

La siguiente unidad geocológica son las tierras altas frías. Por su posición recibe aportes de agua que provienen tanto del páramo de alta montaña como de las precipitaciones pluviales, manteniendo un ambiente húmedo.

En esta unidad la cobertura cerrada que forman las comunidades de pinos, sobre suelos profundos ricos en materia orgánica, amortigua eficientemente la energía pluvial dando lugar a logrando un bajo escurrimiento superficial y alta infiltración. Tales características morfoclimáticas generan baja velocidad de erosión hídrica y, por tanto, alta estabilidad.

Ella representa la cabecera hídrica de la cuenca, en donde todos sus escurrimientos confluyen originando el cauce principal, denominado río Temascaltepec. Sin embargo, este comportamiento impide que el agua infiltrada beneficie a unidades geocológicas establecidas a menor altitud, como es el caso de las tierras intermedias templadas.

La unidad geocológica de valles intermontanos se ubica entre los límites de las unidades geocológicas de tierras altas frías y de tierras intermedias templadas, siendo consecuencia de la diferencia de pendientes existente entre materiales líticos, ígneo y metamórfico, lo que da lugar a la formación de cañadas con diversas profundidades.

Las cañadas recogen el agua captada y almacenada en las tierras altas frías, manteniendo un ambiente siempre húmedo en el que se crea un efecto de invernadero.

En tales condiciones se desarrolla una cerrada cobertura vegetal sobre suelos ricos en materia orgánica, que amortigua

eficientemente la energía de la precipitación que, así, logra una baja velocidad de erosión que confiere alta estabilidad a la unidad.

La misma unidad, funciona como una barrera que fuerza que todos los escurrimientos formados en las tierras altas frías, alimenten y den origen al río Temascaltepec.

La unidad geoecológica de tierras intermedias templadas se establece en continuación con los valles intermontanos, por tanto no puede recibir los aportes subterráneos que se forman en la unidad de tierras altas frías. Sin embargo dentro de la unidad se levantan varias formaciones que interceptan una buena cantidad de humedad, además de que en la parte central del área se ubica un umbral de alta humedad.

La cobertura cerrada que establecen las comunidades de pinos y encinos sobre suelos con variados contenidos de arcilla, no es capaz de amortiguar eficientemente la alta energía pluvial, lo que origina el predominio de escurrimientos superficiales que favorecen una erosión hídrica con moderada velocidad dando origen a una estabilidad media. En ésta la cobertura vegetal juega un papel importante en la regulación del escurrimiento superficial, observándose que en partes en las que ha disminuido la densidad arbórea se presentan procesos de erosión acelerada que dan como resultado formación de "cárcavas en suelos rojos".

Esta unidad incrementa el volumen de escurrimiento del río Temascaltepec en la época lluviosa del año. Aunque el aporte al nivel freático sea muy bajo, es suficiente para cubrir las necesidades de agua en la temporada seca. Los escurrimientos

subterráneos de ésta unidad no llegan hasta las tierras bajas y lomeríos cálidos debido a la barrera que en el extremo occidental establece el macizo metamórfico, y ocupa más de la mitad de la superficie de la cuenca; sin embargo, es la que cuenta con menos estaciones termopluviométricas e hidrométricas, lo que dificultó el conocimiento de su estructura y funcionamiento.

La unidad geocológica de menor altitud se denominó tierras bajas y lomeríos cálidos. En su límite oriental se extiende un macizo montañoso metamórfico que interrumpe la contigüidad con la unidad geocológica de tierras intermedias templadas, lo que le resta posibilidades de obtener escurrimientos subterráneos. Tal situación crea, como única fuente de entrada de agua, las lluvias del verano, mismas que originan una marcada estacionalidad.

En esta unidad, en la temporada lluviosa se desarrolla una cobertura vegetal cerrada, sobre suelos someros y poco arcillosos, que amortigua eficientemente la energía pluvial, originando una baja velocidad de erosión.

Estas características morfoclimáticas confieren a la unidad una alta estabilidad que permite realizar un rápido escurrimiento sin ocasionar problemas de erosión, y presenta una red de drenaje fluvial bien organizada que contribuye a aumentar el escurrimiento, e incrementar, en la época lluviosa, el volumen del río Temascaltepec.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barkin, D., T. King. 1970. Desarrollo Económico Regional (Enfoque por Cuencas Hidrológicas). Siglo Veintiuno Editores S.A. México.
- Begon, M., J. Harper y C. Townsend. 1988. Ecología. Individuos, Poblaciones y Comunidades. Omega. Barcelona. España.
- Bertalanffy, V.L. 1989. Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Cervantes, B. J. 1983. Los Estudios Geocosistémicos y su Base Metodológica. En: Memorias del Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Cervantes, B. J. 1989. Modelo Geocosistémico para la Prospección, Uso y Manejo y los Recursos Naturales. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. No. 19:27-38
- Contreras, A. C. 1940. Clasificación de Climas. Revista de Agricultura. C.A.P.P. México 1937.
- Domínguez, F. y García-Tejero. 1971. El Riego, su Implantación y su Técnica. Dossat S.A. Madrid, España.
- Flores, M. G. et.al. 1971. Memoria y mapa de Tipos de Vegetación en la República Mexicana. SRH. México, D.F.
- Forman, T.T., M. Godros. 1981. Patches and Structural Components for Landscape Ecology. Bioscience, Vol 31, No.10. pp. 733-740.
- García, E. 1981. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México.
- González, B.F. 1981. Ecología y Paisaje. H.Blume Ediciones. Madrid.
- González, M.A. 1987. Distribución de la Vegetación Alpina del Nevado de Toluca, Méx. Resumen en Memorias del X Congreso Mexicano de Botánica. Celebrado en Guadalajara, Jal. del 27 de Septiembre al 3 de Octubre.
- Grajales, S. W., J. Vargas. 1986. Cartografía y Génesis de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas del Área de Influencia del Nevado de Toluca. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapíngo. Departamento de Suelos. México.
- Heine, K. 1976. Blockglets-und Blockzungen-Generationen am Nevado de Toluca, México. Die Erde, Vol.4 (1976). pp. 330-352.

Leopold, A.S. 1950. Vegetation Zones of México. Ecology 31:507- 518.

López, R. E. 1983. Geología de México. Tomo III. 3a. Ed. Edición Escolar. México, D.F.

Lorenzo, V. y P. Pinto. 1964. Carta de Tipos de Vegetación Natural de Clima Húmedo y Clima Seco. Anuario de Geografía. UNAM. 4:245-360.

Madrigal, S. 1970. Contribución al Conocimiento de la Ecología de los Bosques de Oyamel (Abies religiosa (HBK.) Schl. & Cham.) en el Valle de México. Inst. Nac. Invest. Forest. Bol. Tecn. 18. México, D.F.

Mateo, J. 1984. Apuntes de Geografía de los Paisajes. Universidad de La Habana. Cuba.

Meza, S. M. 1976. Interpretación de los Elementos Climáticos en la Evolución Morfológica de la Cuenca Baja del Río Tepeji, Hgo. Tesis Licenciatura en Geografía. Fac. de Filosofía y Letras. UNAM. México, D.F.

Meza, S. M. 1983. Desequilibrio Geocosistémico en la Cuenca de México. En: Memorias del Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Miranda, F. y Hernández X. 1963. Los Tipos de Vegetación de México y su Clasificación. Bol.Soc.Bot.Méx. 28:29-179

Odum, E. 1984. Ecología. 3a. Ed. Nueva Editorial Interamericana. México.

Ochoterena, I. 1937. Esquemas Biotípicos y Sinecias Características de las Regiones Geográficas-Botánicas de México. An. Inst. Biol. México. 8:463-597.

Ramírez, J. 1904. Estudio de Historia Natural. Imprenta de la Secretaría de Fomento. México, D.F.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México D.F.

SARH. 1971. Boletín Hidrológico No.49. Región Hidrológica Núm. 18 (parcial), Cuenca del Medio y Bajo Balsas. Tomo III Datos Hidrométricos de Corrientes de Materiales de Acarreo en Suspensión e Hidrométricos de Vasos. México, D.F.

Sandoval, A.B. 1987. Actualización y Análisis Cartográfico Sobre Usos del Suelo y Vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. Tesis Licenciatura Biología. Facultad de Ciencias de la UNAM. México, D.F.

Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de México.
1988. Los Municipios del Estado de México. Enciclopedia de los
Municipios de México.

Spurr, S.H. 1982. Ecología Forestal. AGT Editor. S.A.
México.

Strahler, A.N. 1974. Geografía Física. Omega. Barcelona,
España.

Thorntwaite, C.W. 1931 The Climates of Northamerica
According to a New Classification. Geographical Review,
21:633-655.

Urbina, C. 1974. Manejo de Cuencas Hidrográficas. Centro
Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá, Colombia.

Vargas, E. 1979. Fotointerpretación en el Manejo de Cuencas
Hidrográficas. Centro Interamericano de Fotointerpretación.
Bogotá, Colombia.

Material Cartográfico:

Cartas: Topográfica, Geológica, Edafológica, Uso Actual del
Suelo y Vegetación, y Aguas Superficiales, Escala 1:50 000.
INEGI, con clave : E-14-A 45 Tuzantla; E-14-A 46 Valle de Bravo;
E-14-A 47 Nevado de Toluca; E-14-A 55 Bejuocos; E-14-A 56
Tejupilco; E-14-A 57 Ixtapan.

Cartas: Topográfica, Efectos Climáticos, Geológica,
Edafológica y Uso Actual del Suelo y Vegetación. Escala
1:250 000. INEGI, con clave: E14-1; E14-2; E14-4 y E14-5.

A N E X O S

A N E X O 1
CLIMAS

ESTACION: LAS JUNTAS
ESTADO: MEXICO
CLIMA: Am (n) (1)g
NEOCLIMATA CALIDO SUBHUMEDO

LATITUD: 19°14'
LONGITUD: 100°18'
ALTITUD: 750 msnm

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	22.7	24	26.1	28.5	29.3	27.5	25.3	25.1	24.9	24.5	24.1	22.7	25.3
P(mm)	12.3	2.1	1.1	6.5	39.7	192.3	212.5	197.8	191.9	94.4	21.6	2.7	974.9
ETP(mm)	53.5	61	81.6	97	111.6	111.8	112.6	107.9	97.2	96.6	74.5	62.9	1062.2
i	.5	.1	.1	.4	2.3	8.8	10.3	9.7	9.4	4.7	1.1	.1	47.4
i'	10.2	10.8	11.7	12.8	13.2	12.4	11.4	11.3	11.2	11.0	10.8	10.2	137.1

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°NES MAS FRIO	T°NES MAS CALIDO	T°NES MAS SECO	NES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
25.4	974.9	DIC-ENE	MAYO	MARZO	JULIO	6.6	38.4	1.6	85.6

ESTACION: ACATITLAN
ESTADO: MEXICO
CLIMA: Am(1)'' (n) (1)g
NEOCLIMATA CALIDO SUBHUMEDO

LATITUD: 19°00'
LONGITUD: 100°18'
ALTITUD: 1150 msnm

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	21.3	22.5	25.1	26.9	26.8	25	23.3	23.2	23.1	22.5	22.3	21.1	23.6
P(mm)	16	4	2.9	13.4	66.6	249.9	191.4	199.9	247.9	111.2	22.3	10.5	1130
ETP(mm)	51.6	58.8	79.7	93.7	105.7	105.6	107.4	103.2	93.1	86.3	71.3	60.4	1016.8
i	.9	.2	.1	.6	2.8	12.2	9.8	10.3	12.8	5.8	1.2	.6	57.3
i'	9.6	10.1	11.3	12.1	12.1	11.3	10.5	10.4	10.4	10.4	10.0	9.5	127.6

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°NES MAS FRIO	T°NES MAS CALIDO	T°NES MAS SECO	NES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
23.6	1129.9	DIC.	ABRIL	MARZO	JUNIO	5.8	47.9	2.0	93.9

ESTACION: LUVIANOS
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: (A) C (w²) (w) a (w)g
 MESOCЛИMA: CALIDO SUBHUMEDO

LATITUD: 18°55'
 LONGITUD: 100°17'
 ALTITUD: 1135 msnm

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	17.8	19.9	22	24.1	25.2	24.3	22.3	23	22.5	22.3	20.7	19.5	22.0
P(mm)	18.1	2.5	2.1	8.6	53.8	233.7	243.6	229.5	240.6	120.9	20.3	4.5	1178.2
ETP(mm)	47	55	73.9	87.8	101.9	103.9	106.3	102.6	92.7	85.8	68.4	57.9	983.2
i	1.1	.1	.1	.4	2.6	11.7	12.6	11.9	12.6	6.4	1.1	.3	60.9
i'	7.9	9.0	9.9	10.8	11.3	10.9	10.3	10.4	10.1	10.0	9.3	8.8	118.7

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T° MES MAS FRIO	T° MES MAS CALIDO	T° MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	% P. INVERNAL	% P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	MAYO	MARZO	JUNIO				
22	1178.1	17.8	25.2	2.1	243.6	7.4	53.5	1.9	95.2

ESTACION: PASO DEL COBRE
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: (A) C (w²) (w) a(g)
 MESOCЛИMA: SEMICALIDO SUBHUMEDO

LATITUD: 18°58'
 LONGITUD: 100°
 ALTITUD: 1578 msnm

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	16.6	17.4	19.9	21.9	23	21.4	20.3	19.7	19.8	19.3	18.1	16.9	19.5
P(mm)	19.7	6.5	5.8	15.6	80.5	265.5	260.9	238.9	261.7	128.4	39.1	10.4	1333
ETP(mm)	28	27	33	69	119	137	141	129	67	28	25	25	828
i	1.2	.4	.3	.8	4.2	14.4	14.6	13.6	14.9	7.4	2.4	.7	74.9
i'	7.5	7.8	9.0	9.9	10.4	9.6	9.1	8.9	8.9	8.7	8.1	7.6	105.4

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T° MES MAS FRIO	T° MES MAS CALIDO	T° MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	% P. INVERNAL	% P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	MAYO	MARZO	JUNIO				
19.5	1333	16.6	23	5.8	265.5	4.9	68.4	2.4	92.7

ESTACION: TEQUESQUIPAN
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: C (w2) (w) big
 RESOCCLIM: IIIB TEMPLADO HUMEDO

LATITUD: 19°03'
 LONGITUD: 99°57'
 ALTITUD: 2300 esno

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	12.2	12.9	14.9	16	16.8	15.7	15	14.9	14.7	14.4	13.3	13	14.5
P(mm)	24.3	12.5	11.9	17.3	93.4	219.6	240.3	284.2	237.5	133.8	44	14.7	1323.5
ETP(mm)	25	23	29	59	101	118	122	113	58	24	13	22	707
i	1.8	.9	.8	1.2	5.9	14.3	17.4	17.1	16.1	9.2	3.1	1.1	88.8
i'	5.5	5.8	6.7	7.2	7.6	7.1	6.8	6.7	6.4	6.5	6.0	5.9	78.2

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	MAYO	MARZO	JULIO				
14.5	1323.5	12.2	16.8	11.9	260.3	4.6	91.3	3.7	90.6

ESTACION: LA COMUNIDAD
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: C (w2) (w) big
 RESOCCLIM: IIV SEMIFRIO HUMEDO

LATITUD: 19°08'
 LONGITUD: 99°56'
 ALTITUD: 2450 esno

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	12.3	13.1	14.8	16.3	16.9	15.9	15.3	15.3	15.3	15	13.7	12.3	14.7
P(mm)	24.8	16.7	20.6	26.2	123	221.8	267.2	291.1	198.9	119.8	39.7	18.6	1328.4
ETP(mm)	25	24	27	60	101	118	123	106	59	25	22	22	712
i	1.8	1.2	1.4	1.7	7.7	14.4	17.7	16.6	13.2	8.0	2.8	1.4	87.8
i'	5.3	5.9	6.7	7.3	7.6	7.2	6.9	6.9	6.9	6.8	6.2	5.5	79.0

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		DIC/ENER	MAYO	FEBRERO					
14.7	1328.4	12.3	16.9	16.7	267.2	4.6	90.4	4.7	89.0

ESTACION: TENASCALTEPEC
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: (A) C (w2) (w) big
 MESOClima: III B Templado Humedo

LATITUD: 19°03'
 LONGITUD: 100°03'
 ALTITUD: 1740 esna

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	16.1	16.9	17.9	19.2	19.6	19.4	19.6	18.2	17.8	18.2	17.4	16.8	18.1
P(mm)	11.1	5.7	3.5	9.4	66.8	238.2	284.8	334.9	281.6	128.6	32.3	9.3	1406.2
ETP(mm)	28	26	31	65	109	130	139	124	63	27	25	25	792
I	.7	.4	.2	.5	3.8	13.7	16.3	20.1	17.1	7.7	2.0	.6	83.0
I'	7.2	7.6	8.1	8.6	8.8	8.7	8.8	8.2	8.0	8.2	7.8	7.6	97.7

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	MAY/JUL	MARZO	AGOSTO				
18.1	1406.2	16.1	19.6	3.5	334.9	3.5	77.7	1.4	92.4

ESTACION: REAL DE ARRIBA
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: C (w2) (w) big
 MESOClima: III B Templado Humedo

LATITUD: 19°02'
 LONGITUD: 100°
 ALTITUD: 1860 esna

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	13.7	13.2	15.9	17.7	18.5	18.3	17.6	17.2	17.2	15.2	14.4	14.2	16.1
P(mm)	9.7	16.3	14.6	19.1	84.8	243.3	279	205.8	249.4	149	33.4	7.6	1312
ETP(mm)	26	24	29	62	106	126	131	121	62	25	14	23	749
I	.7	1.2	.9	1.2	5.0	14.1	17.0	12.7	15.4	9.9	2.3	.5	81.0
I'	6.2	5.9	7.2	8.0	8.3	8.2	7.9	7.7	7.7	6.8	6.5	6.4	86.9

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	MAYO	DIC.	JULIO				
16.1	1312	13.7	18.5	7.6	279	4.6	81.5	3.1	92.3

ESTACION: SAN FRANCISCO DE TITULPAN
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: C (w2) (w) big
 MESOClima: IVS SEMIFRIO HUMEDO

LATITUD: 19°10'
 LONGITUD: 99°55'
 ALTITUD: 2700 asna

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	10.8	11.6	13.3	14.9	15.4	14.9	14.3	14	14	13.3	11.8	10.8	13.3
P(mm)	30.3	18.2	15.8	32.9	126.4	208.1	264.6	230.2	200.9	122	33	26.2	1308.6
ETP(mm)	23	22	27	57	97	114	119	110	57	24	21	21	692
i	1.6	1.4	1.1	2.2	8.3	14.0	18.2	16.0	14.0	8.7	2.5	2.1	90.1
i'	4.9	5.2	6.0	6.7	6.9	6.7	6.4	6.3	6.3	6.0	5.3	4.9	71.6

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		ENE	MAYO	MARZO	JULIO				
13.3	1308	10.8	15.8	15.8	264.6	4.6	98.4	4.9	88.1

ESTACION: NEVADO DE TOLUCA
 ESTADO: MEXICO
 CLIMA: E(T)HC (w2) (w) big
 MESOClima: IVS FRIO SUBHUMEDO

LATITUD: 19°07'
 LONGITUD: 99°45'
 ALTITUD: 4120 asna

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T(°C)	2.7	2.3	4.1	5.2	5.1	5.1	4.4	4.2	4.3	4	3	2.7	4.3
P(mm)	15.1	24	20	55.7	114.2	187.1	240.7	231	187.8	77.4	23.7	18.8	1235.5
ETP(mm)	17	15	19	40	67	80	82	76	39	35	9	15	513
i	1.8	3.0	2.2	5.8	12.0	19.7	28.6	25.6	20.7	8.7	2.8	2.3	11.3
i'	1.2	1.0	1.8	2.3	2.3	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8	1.4	1.2	1.9

RESUMEN

T. MEDIA ANUAL	PREC. ANUAL	T°MES MAS FRIO	T°MES MAS CALIDO	T°MES MAS SECO	MES MAS HUMEDO	OSC.	P/T	I P. INVERNAL	I P. MAYO OCTUBRE
		ENERO	ABRIL	ENERO	JULIO				
3.9	1215.5	2.3	5.2	15.1	240.7	2.9	311.6	4.9	87.1

DEFINICION DE LOS TIPOS Y SUBTIPOS CLIMATICOS¹ DE CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RIO TEMASCALTEPEC, EDO. DE MEXICO

Las Juntas Awo (w) (i')g

Cálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con poca oscilación térmica y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Acatitlán Aw1" (w) (i')g

Cálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el intermedio de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, presenta la canícula (sequía de medio verano) , con poca oscilación térmica y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Luvianos (A)C (w1") (w)a(e)g

Semicálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el intermedio de los subhúmedos, con menos del 5% de precipitación invernal, con canícula, con verano cálido, con oscilación térmica extremosa y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Paso del Cobre (A)C (w2") (w) aig

Semicálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más humedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con canícula, con oscilación térmica isothermal y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

1 Clasificación de García, 1981

Temascaltepec (A)C(w2) (w)big

Semicálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con oscilación térmica isoterma y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Real de Arriba (E-32) C(w2) (w)big

Templado subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con canícula, con verano fresco largo, con oscilación térmica isoterma y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Tequesquipan C (w2) (w)big

Templado subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con verano fresco largo, con oscilación térmica isoterma y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

San Francisco Oxtotilpan C(w2) (w)big

Templado subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con verano fresco y largo, con oscilación térmica isoterma y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

La Comunidad C(m) (w)big

Templado húmedo, con régimen de lluvias de verano, con menos de 5% de precipitación invernal, con oscilación térmica isoterma y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

Nevado de Toluca E (T) HC (w2) (w)ig

Frío subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos de 5% de precipitación invernal, con oscilación térmica isotermal y marcha anual de temperatura tipo Ganges.

ANEXO 2

HI DROLOGIA

VOLUMEN MENSUAL DE ESCURRIMIENTO DE LAS ESTACIONES HI DROMETRICAS DE LA CUENCA DEL RIO TERNALTEPEC

ESTACION Y PERIODO DE REGISTRO	VOLUMEN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
LA COMUNITAS 1959-70	Miles m ³ mm	3923.25 32.08	2983.42 23.58	2610.58 21.35	2453.58 20.06	3219.17 26.32	3948 32.28	5410.42 44.24	6500.42 53.15	7044.17 57.60	6409 52.40	4991.38 40.81	4169.33 34.09	53562.92 437.96
RIO VERDE 1942-58	Miles m ³ mm	3862.47 18.17	2945.41 13.85	2870 13.50	2775.82 13.06	3729.94 17.54	4827.88 22.71	5966.47 28.04	6486.82 30.51	7394.59 34.78	6546 30.79	5264.41 24.76	4643.71 21.84	57307.52 269.35
REAL DE ARRIBA 1959-70	Miles m ³ mm	5163.58 45.86	1937.50 17.21	1769.58 15.72	1657.50 14.72	2371.92 21.06	4211.58 37.40	6587.25 58.50	9899.83 87.92	14147.08 125.64	12633.42 112.20	6558.33 58.24	3953.58 35.11	70891.15 629.58
PASO DEL COBRE 1952-66	Miles m ³ mm	13940.33 21.56	10404.87 16.09	9719.53 15.03	9259.20 14.32	12080.20 18.68	22849.87 35.34	30721.60 47.51	34974.33 54.09	51335 79.39	42243.93 65.33	25672.53 39.70	17799.87 27.53	281001.26 434.57
PASO DEL MAYANO 1956-67	Miles m ³ mm	434.17 3.09	147.67 1.05	85.50 .61	26.42 .19	34.67 .25	2910.67 20.75	7440.92 53.18	9225.67 65.76	17281.58 123.18	9851.33 68.79	2212.92 15.77	1074.58 7.66	50546.10 368.28
PASO DEL MAYANO 1952-66	Miles m ³ mm	15610.13 14.53	11430.87 10.64	10486.33 9.76	9831.93 9.15	12926.80 12.04	28915.53 26.92	40976 38.15	47063.60 43.82	69497.53 64.70	56801.33 52.88	50754.07 28.63	20347.47 18.94	354645.59 330.16

RESULTADOS DEL CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
ANUAL DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TEMASCALTEPEC

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
SUBCUENCA RIO VERDE (A-B)
SUPERFICIE 212.8 Km²

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m3)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
<1200	19.77	1150	22735.50	
1200-1400	158.59	1300	206167	
1400-1500	11.69	1450	16950.50	
>1500	22.75	1550	35262.50	
TOTAL	212.80		281115.50	1321.03

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m3)	VOLUMEN (mm)
<600	17.65	550	9707.50	
600-700	139.05	650	90382.50	
700-800	56.10	750	42075	
TOTAL	212.80		142165	668.07

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO. ESTACION RIO VERDE

VOLUMEN ANUAL Miles m3	VOLUMEN (mm)
57307.52	269.30

CALCULO DE INFILTRACION I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO)	VOLUMEN (mm)
I= 281,115.5-(142,165 + 57,307.52)= 81642.98 Miles de m3	383.66

BALANCE HIDROLOGICO	VOLUMEN MILES m3	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I =	81642.98	383.66	29.04
ETP =	142165	668.07	50.57
Q =	57307.52	269.30	20.39
P =	281115.50	1321.03	100

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
 SUBCUENCA REAL DE ARRIBA (C)
 SUPERFICIE 112.6 Km²

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m ³)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
1200-1400	76.40	1300	99320	
1400-1500	13.90	1450	20155	
>1500	22.30	1550	34565	
TOTAL	112.60		154040	1368.03

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m ³)	VOLUMEN (mm)
600-700	38.80	650	25220	
700-800	73.80	750	55350	
TOTAL	112.60		80570	715.54

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO REAL DE ARRIBA

VOLUMEN ANUAL Miles m ³	VOLUMEN (mm)
70891.16	629.58

CALCULO DE INFILTRACION	VOLUMEN (mm)
I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO)	
I= 154 040-(80 570 + 70 981.16)=	
2578.84 Miles de m ³	22.90

BALANCE HIDROLOGICO	VOLUMEN MILES m ³	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I	2578.84	22.90	1.67
ETP	80570	715.54	52.30
Q	70891.16	629.58	46.02
P	154040	1368.02	100

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
 SUBCUENCA PASO DEL COBRE (D)
 SUPERFICIE 321.2 Km²

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m ³)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
1300-1400	274.10	1350	370035	
>1400	47.10	1450	68295	
TOTAL	321.20		438330	1364.66

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m ³)	VOLUMEN (mm)
700-800	103.10	750	77325	
800-900	218.10	850	185385	
TOTAL	321.20		262710	817.90

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO ESTACION PASO DEL COBRE

VOLUMEN ANUAL † Miles m ³	VOLUMEN (mm)
152802.50	475.72

CALCULO DE INFILTRACION	VOLUMEN
I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO)	(mm)
I= 438 330-(262 710 + 152 802.5)=	
22817.50 Miles de m ³	71.04

BALANCE HIDROLOGICO	VOLUMEN MILES m ³	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I	22817.50	71.04	5.21
ETP	262710	817.90	59.93
Q	152802.50	475.72	34.86
P	438330	1364.66	100

† EL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL PARA LA ESTACION PASO DEL COBRE (1952-1966) FUE DE 281 001.27 MILES DE m³, SIN EMBARGO ESTE VOLUMEN INCLUYE EL REGISTRO DE LAS ESTACIONES REAL DE ARRIBA Y RIO VERDE, POR LO QUE SE PROCEDIO A RESTAR LOS VALORES CORRESPONDIENTES:
 PASO DEL COBRE= PASO DEL COBRE-(REAL DE ARRIBA + RIO VERDE)

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
 SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO (E)
 SUPERFICIE 140.3Km²

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m3)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
1000-1200	107.14	1100	117854	
1200-1300	25.51	1250	31887.50	
1300-1400	7.65	1350	10327.50	
TOTAL	140.30		160069	1140.91

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m3)	VOLUMEN (mm)
800-900	19.80	850	16830	
900-1000	120.50	950	114475	
TOTAL	140.30		131305	935.89

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO. ESTACION PASO DEL GUAYABO

VOLUMEN ANUAL Miles m3	VOLUMEN (mm)
50546.08	360.27

CALCULO DE INFILTRACION	VOLUMEN (mm)
I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO)	
I= 160 069-(131 305 + 50 546.08)=	
-21782.08 Miles de m3	-155.25

BALANCE HIDROLOGICO	VOLUMEN MILES m3	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I	-21782.08	-155.25	-13.61
ETP	131305	935.89	82.03
Q	50546.08	360.27	31.58
P	160069	1140.91	100

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
 SUBCUENCA PASO DEL RAYAN (F)
 SUPERFICIE 287.2 Km²

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m ³)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
1000-1200	71.80	1100	78980	
1200-1300	43.08	1250	53850	
1300-1400	172.32	1350	232632	
TOTAL	287.20		365462	1272.50

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m ³)	VOLUMEN (mm)
700-800	86.16	750	64620	
800-900	114.88	850	97648	
900-1000	86.16	950	81852	
TOTAL	287.20		244120	850

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO ESTACION PASO DEL RAYAN

VOLUMEN ANUAL * Miles m ³	VOLUMEN (mm)
23098.24	80.43

CALCULO DE INFILTRACION I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO) I= 365 462-(244 120 + 23 098.24)= 98243.76 Miles de m ³	VOLUMEN (mm)
	342.07

BALANCE HIDROLOGICO

	VOLUMEN MILES m ³	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I	98243.76	342.07	26.88
ETP	244120	850	66.80
Q	23098.24	80.43	6.32
P	365462	1272.50	100

* EL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL PARA LA ESTACION PASO DEL RAYAN (1952-1967) FUE DE 354 645.60 MILES DE m³, SIN EMBARGO ESTE VOLUMEN INCLUYE EL REGISTRO DE LAS ESTACIONES PASO DEL GUAYABO Y PASO DEL COBRE, POR LO QUE SE PROCEDIO A RESTAR LOS VALORES CORRESPONDIENTES:
 PASO DEL RAYAN= PASO DEL RAYAN-(PASO DEL COBRE+PASO DEL GUAYABO)

**BALACE HIDROLOGICO REGION LOS PINZANES (G)
SUPERFICIE 150.8 Km²**

CALCULO DE PRECIPITACION MEDIA POR METODO DE ISOYETAS

A ISOYETAS (mm)	B AREA (Km ²)	C PRECIP. (mm)	(B*C)=D VOLUMEN (Miles m ³)	(D/B)=E VOLUMEN (mm)
<1000	72.80	950	69160	
1000-1200	46.80	1100	51480	
1200-1300	19.70	1250	24625	
1300-1400	11.50	1350	15525	
TOTAL	150.80		160790	1066.25

CALCULO DE ETP MEDIA POR EL METODO DE ISOLINEAS

ISOLINEAS (mm)	AREA (Km ²)	ETP (mm)	VOLUMEN (Miles m ³)	VOLUMEN (mm)
700-800	8.45	750	6337.50	
800-900	41.60	850	35360	
900-1000	61.75	950	58662.50	
>1000	39	1050	40950	
	150.80		141310	937.07

REGISTRO DE ESCURRIMIENTO*

VOLUMEN ANUAL ESTIMADO Miles m ³	VOLUMEN (mm)
10161.93	67.39

CALCULO DE INFILTRACION I= PRECIPITACION-(ETP+ESCURRIMIENTO) I= 160 790-(141 310 + 10 161.93)= 9318.07 Miles de m ³	VOLUMEN (mm)
	61.79

BALANCE HIDROLOGICO			
	VOLUMEN MILES m ³	VOLUMEN (mm)	PORCENTAJE (%)
I	9318.07	61.79	5.80
ETP	141310	937.07	87.88
Q	10161.93	67.39	6.32
P	160790	1066.25	100

* ESTA REGION NO CUENTA CON ESTACION HIDROMETRICA POR LO QUE SE CONSIDERO CONVENIENTE HACE UNA ESTIMACION DEL ESCURRIMIENTO TOMANDO COMO BASE EL PORCENTAJE DE ESCURRIMIENTO REGISTRADO EN LA REGION PASO DEL RAYAN (6.32%)

RESULTADOS DEL CALCULO DEL BALANCE HIDRICO
MENSUAL DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO
TEMASCALTEPEC

SUBCUENCA RIO VERDE (A-B)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	30.59	18.15	22.20	-9.77
F	18.37	13.84	21.24	-16.71
M	15.95	13.49	26.07	-23.60
A	33.21	13.04	55.03	-34.86
M	127.60	17.53	93.65	16.43
J	210.08	22.69	110.06	77.33
J	267.11	28.01	114.88	124.22
A	232.39	30.48	106.20	95.71
S	202.81	34.75	55.03	113.03
O	123.16	30.76	23.17	69.23
N	33.31	24.74	20.27	-11.70
D	26.45	21.82	20.27	-15.65
TOTAL	1321.03	269.30	668.07	383.66

SUBCUENCA REAL DE ARRIBA (C)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	25.12	45.86	25.30	-46.04
F	12.92	17.21	23.28	-27.56
M	12.30	15.72	29.35	-32.77
A	17.88	14.72	59.71	-56.55
M	96.54	21.07	102.22	-26.74
J	226.99	37.40	119.43	70.16
J	269.06	58.50	123.47	87.08
A	262.75	87.92	114.36	60.47
S	245.49	125.64	58.70	61.15
O	138.30	112.20	24.29	1.81
N	45.48	58.24	13.16	-25.92
D	15.19	35.11	22.27	-42.18
TOTAL	1368.02	629.59	715.54	22.91

SUBCUENCA PASO DEL COBRE (D)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	20.17	15.30	27.66	-22.79
F	6.65	17.19	26.67	-37.21
M	5.94	15.82	32.60	-42.48
A	15.97	15.02	68.16	-67.21
M	82.41	18.61	117.55	-53.75
J	271.81	43	135.33	93.48
J	267.10	56.58	139.28	71.24
A	244.57	57.87	127.43	59.28
S	267.92	92.76	66.18	108.98
O	131.45	71.81	27.66	31.98
N	40.03	43.12	24.70	-27.79
D	10.65	28.65	24.70	-42.70
TOTAL	1364.67	475.73	817.92	71.03

SUBCUENCA PASO DEL GUAYABO (E)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	17.53	3.09	44.73	-30.29
F	2.42	1.05	52.37	-51
M	2.03	.61	70.38	-68.96
A	8.33	.19	83.54	-75.40
M	52.10	.25	96.99	-45.14
J	226.30	20.75	98.86	106.70
J	235.89	53.18	101.17	81.54
A	222.24	65.76	97.68	58.80
S	232.99	123.18	88.23	21.58
O	117.07	68.79	81.70	-33.42
N	19.66	15.77	65.15	-61.27
D	4.36	7.66	55.10	-58.40
TOTAL	1140.92	360.28	935.90	-155.26

SUBCUENCA PASO DEL RAYAN (F)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	18.02	4.30	43.14	-29.42
F	4.50	3.06	49.15	-47.71
M	3.27	2.37	66.63	-65.73
A	15.09	1.90	78.33	-65.14
M	68.24	2.83	88.36	-22.95
J	281.41	10.99	88.28	182.15
J	215.54	9.73	89.78	116.03
A	225.11	9.98	86.27	128.86
S	279.16	3.07	77.83	198.27
O	125.22	17.08	72.14	36
N	25.11	10	59.60	-44.49
D	11.82	5.13	50.49	-43.80
TOTAL	1272.49	80.44	850	342.07

SUBCUENCA LOS PINZANES (G)

MESES	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	I (mm)
E	13.45	3.60	47.20	-37.35
F	2.30	2.56	53.81	-54.08
M	1.20	1.99	71.99	-72.77
A	7.11	1.59	85.57	-80.06
M	43.42	2.37	98.45	-57.40
J	210.32	9.20	98.63	102.48
J	232.41	8.15	99.34	124.93
A	216.33	8.36	95.19	112.79
S	209.88	2.57	85.75	121.56
O	103.25	14.31	79.93	9.01
N	23.62	8.37	65.72	-50.47
D	2.95	4.30	55.49	-56.83
TOTAL	1066.24	67.37	937.07	61.81