

01059 2g



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

ESTUDIO HIDROGEOGRAFICO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI, ESTADO DE MEXICO, LAS SUBCUENCAS VERTIENTES A LA PRESA TAXHIMAY

T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRA EN GEOGRAFIA

(Evaluación de Recursos Naturales)

QUE PRESENTA:

LIC. MARTHA YANETH HORMIGA SANCHEZ

FAC. DE FILOSOFIA Y LETRAS

ASESOR: M. en G. VICTOR M. MARTINEZ LLERENA

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., MARZO DE 1999



DIVISION DE ESTUDIOS POSGRADO ASESORIAS

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

272062



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

P

/

D

D E D I C A D O A .

*A mi padre Abraham por
su infinito amor...
tu recuerdo siempre
vivirá en mí.*

*A mi madre Luz María
por la ternura, apoyo y
dedicación que ha brin-
dado a sus hijos para
alcanzar sus metas.*

*A mis hermanos Clara, Alexander, Miller,
Elsa Catalina, Carmen y Víctor por
su cariño y amistad.*

*A mis adorados sobrinos Marcela, Paola, Angela María
Veriana, Felipe y Yinetth para que ellos también logren
sus objetivos.*

*Y especialmente a la fuente de inspiración durante estos largos años
mi hija Karla Melissa y mi esposo Jader por su amor, paciencia y
comprensión en el desarrollo de mi vida profesional*

A.G.R.A.D.E.C.I.M.E.N.TOS

Al Maestro Víctor Manuel Martínez Luna, por su valiosa asesoría, apoyo y paciencia durante la realización de este trabajo; además de la calidad humana y amistad que me brindó en los momentos más difíciles, infundiéndome ánimo para salir adelante

A la Doctora Laura Elena Madero y Rascón quien como revisora, me hizo acertadas sugerencias para enriquecer este trabajo.

Así como también, al Doctor Juan Carlos Gómez Rojas, a la Doctora Martha Cervantes Ramírez, al Maestro Alberto López Santoyo por sus interesantes comentarios para mejorar el trabajo.

Todos ellos miembros del jurado.

Al señor Arturo Roséndix Cruz dibujante del Instituto de Geografía quien elaboró la cartografía final de este trabajo.

A los familiares y amigos que nunca me olvidaron a pesar de la distancia y el tiempo manteniendo viva la llama del cariño y la amistad.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCION	1
Marco de referencia	5
Marco teórico	7
1. Antecedentes de estudios en la zona	11
2. Exposición de los métodos empleados.	12
2.1 Selección de la cuenca	12
2.2 Cálculo de áreas	13
2.3 Mediciones lineales	13
2.4 Elaboración del mapa base y de los temáticos	14
2.5 Diseño de tablas de datos y gráficas	15
CAPITULO 1	
1.0 LA CUENCA FLUVIAL	16
1.1 Concepto y definición	16
1.2 Concepto de red hidrográfica	16
1.3 La cuenca del río Tepeji	17
1.4 Localización geográfica particular de la zona de estudio	18
1.4.1 Por coordenadas extremas	18
1.4.2 Posición geográfica de la cabecera y la desembocadura.	18

1.4.3 Ubicación en la gran cuenca hidrográfica a la que pertenece	19
1.4.4 Ubicación por vecindad con otras cuencas.	20
14.5 Ubicación por entidad política y municipios	20
1.4.6 Ubicación por regiones geomórficas y orogénicas.	21
1.4.7 Accesibilidad a la cuenca.	21
1.5 Dimensiones de la cuenca	22
1.5.1 Largo y ancho principales.	23
1.5.2 Longitud del perímetro.	24
1.5.3 Relación de circularidad y coeficiente de compacidad.	24
1.5.4 Area de la cuenca.	25
2.6 Descripción orográfica de la cuenca	27
1.6.1 Histograma de frecuencias altimétricas.	27
1.6.2 Descripción del sistema orográfico y principales características geolitológicas.	28
1.6.3 Curva hipsográfica e hipsométrica.	30
1.6.4 Descripción del declive de la cuenca.	31
 CAPITULO 2	
2.0 LITOLOGIA GENERAL DE LA CUENCA	36
2.1 Datos geológicos	36
2.2 Los principales tipos de rocas y su localización	37
2.2.1 Rocas igneas	37

2.2.1.1. Andesitas	37
2.2.1.2. Basalto	38
2.2.1.3. Tobas	38
2.2.1.4. Brecha volcánica.	39
2.2 . Rocas sedimentarias.	39
2.2.2.1. Areniscas.	40
2.2.2.2. Conglomerado.	40
2.2.3. Residual	41
2.2.4. Aluvial.	41
2.3 La infiltración y el escurrimiento con respecto a las características de las rocas	42

CAPITULO 3

3.0 EDAFOLOGIA DE LA CUENCA	45
3.1 Características generales de los suelos	45
3.1.1. Feozem.	46
3.1.2. Andosol	47
3.1.3. Luviosol	48
3.1.4. Vertisol.	49
3.1.5. Litosol	50
3.3 La cobertura de las asociaciones de suelo y su localización	51

3.2.1. Feozem + Feozem háplico + vertisol pélico + litosol crómico (H+Hh+VP+Lc).	51
3.2.2 Andosol + andosol mólico + feozem + litosol + feozem háplico + litosol crómico + andosol ócrico + luviosol (Tm+H+I+Hh+Ic+To+L) .	52
3.2.3. luviosol crómico+ feozem háplico+feozem + vertisol + andosol ócrico + andosol húmico (Lc+Hh+H+V+To+Th)	52
3.2.4. Feozem háplico + litosoles (Hh+I)	53
3.2.5. Vertisol crómico+ vertisol pélico + Feozem háplico. (vc+Vp+Hh).	54
3.3 Características edafológicas de muestras de algunos puntos de verificación .	55
3.4 Características del comportamiento y propiedades de los suelos con respecto a la infiltración y al escurrimiento	56
3.5 <i>La cobertura arbórea y la explotación forestal.</i>	58
3.5.1 Bosque de oyamel.	59
3.5.2 Bosque de pinos.	60
3.5.3 Bosque de encinos.	61
3.6 El uso de suelo e identificación de las áreas agrícolas y de vegetación inducida	63
3.7 Las áreas agrícolas como zonas de recarga acuífera de evaporación y de transpiración.	65

CAPITULO 4

4.0 LA RED HIDROGRAFICA	68
4.1 Definición	68
4.2 Descripción general del tipo de red	69
4.2.1 Clases de corrientes.	69
4.2.2 Modelos de drenaje.	70
4.2.3 Orden de corrientes y colector principal.	72
4.3 Descripción de la red de acuerdo con las jerarquías de las subcuencas internas	73
4.4 Cuantificación y análisis del sistema fluvial	75
4.4.1 Tabla del número de cauces y la descripción de la relación de bifurcación.	76
4.4.2 Gráfica de la relación de bifurcación y la relación de longitud.	78
4.4.3. Frecuencia de cauces.	79
4.4.4 Densidad de drenaje.	81
4.5 . La relación de la litología con algunos aspectos de la red	82

CAPITULO 5

5.0. CLIMA	85
-------------------	-----------

5.1. Temperatura	86
5.2. Precipitación	87
5.3. Descripción y localización de los principales tipos de climas y correlación con algunas características de la geografía física	88
5.4. Relación entre la geología, el clima y el comportamiento hidrológico.	90

CAPITULO 6

6.0. ESTIMACION DEL BALANCE HIDROLOGICO.	92
6.1. Balance hidrológico general	92
6.2. Precipitación	93
6.3. Evapotranspiración y su volumen	96
6.4. Escurrimiento y su volumen	100
6.5. Infiltración y su volumen	104

CAPITULO 7

7.1. EL USO DEL SUELO, AGRICULTURA, GANADERIA Y EXPLOTACION FORESTAL.	107
7.2. El uso del agua en la cuenca	109
7.3. La alteración del ciclo hidrológico	111

CAPITULO 8

8.0. RESUMEN Y CONCLUSIONES	117
------------------------------------	------------

RELACIÓN DE MATERIAL ANEXO	124
-----------------------------------	------------

<i>Lista de mapas elaborados.</i>	124
-----------------------------------	------------

Lista de cuadros numéricos.	125
-----------------------------	------------

Lista de gráficas elaboradas.	125
-------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA	127
---------------------	------------

Cartografía consultada	133
------------------------	------------

INTRODUCCION

La cuenca fluvial, hidrológica, hidrográfica o de drenaje, puede ser estudiada como una expresión territorial del sistema ambiental donde las precipitaciones son distribuidas en cada uno de los componentes del ciclo hidrológico.

La cuenca hidrográfica en su conjunto puede ser considerada como un sistema abierto, un sistema de proceso -respuesta, porque los flujos de materia y energía causa efectos en el territorio (López 1992). Dadas estas circunstancias cualquier perturbación que sufra uno de los componentes del sistema, modificará el equilibrio natural de este en su totalidad.

El presente estudio busca evaluar, precisamente apoyado en la dinámica de la cuenca fluvial, las interrelaciones de las condiciones de la superficie que influyen o controlan las fases del ciclo hidrológico: la geomorfología, el suelo, la vegetación, el clima y otras características que dan como producto común el volumen de escurrimiento y caudal de agua.

Para tal fin se eligió la cuenca alta del río Tepejí, cuyos escurrimientos reconocen como nivel de base local a la presa Taxhimay. En cambio la cuenca baja, según criterio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, esta representada por la superficie que capta los escurrimientos controlados por la presa Requena.

Ambas subcuencas forman la cuenca del río Tepejí que, a su vez, queda integrada a la gran cuenca del Pánuco, una de las más importantes del país por los recursos hidrológicos que posee, misma que pertenece a la región hidrológica. No. 26 (Oropeza, 1976). Cabe indicar que para delimitar la cuenca alta del río Tepeji se utilizaron las cartas topográficas del Instituto Nacional de Geografía e Informática (I.N.E.G.I.) de la región, en escala 1: 50 000, en ellas están impresos los límites estatales, aunque ahí mismo aparece una anotación que informa sobre la fuente de procedencia y especifica además que el editor no se hace responsable de este aspecto. En el mapa de la secretaría de comunicaciones y transportes en escala 1: 60 000, los límites estatales no coinciden plenamente con los mencionados. Al respecto es pertinente indicar que También hay cierta imprecisión en la determinación de los límites. Lo precedente se menciona porque todo parece indicar que casi toda la cuenca alta del río Tepeji corresponde políticamente al estado de México. Únicamente la porción norte, abarcando un área aproximada de 10 km², está ubicada en el estado de Hidalgo

Hay que recalcar que para evaluar el aspecto climático, sólo se contó con el apoyo de dos estaciones termopluviométricas localizadas dentro de la cuenca: *Villa de Carbón*, y *Taxhimay*; de las cuales se recabaron datos de precipitación y temperatura media de los últimos diez años (1975-1984). Al igual que las estaciones termopluviométricas circunvecinas *Santa María Nativitas*, *Santiago Tlazala* y *Santa María Magdalena*.

Esta estadística fue suministrada por el departamento de hidrometría de la oficina de climatología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Al respecto informaron que sólo hay datos de precipitación y temperatura hasta 1.984, porque, al parecer, se suspendieron las lecturas de la estación de la presa *Taxhimay*.

En cuanto a los datos hidrométricos se obtuvieron de la estación *El Calabozo* (S.A.R.H. 1997), localizada a la salida de la presa *Taxhimay*. El único periodo completo que se encontró y por ello se seleccionó fue el comprendido entre 1986 a 1994.

Los suelos y el tipo de roca de la zona en estudio se determinaron con base en las cartas edafológicas de *Villa del Carbón* y *Tepeji del Río* (Escala 1: 50 000), de la Dirección de Estudios del Territorio Nacional.

Como es imposible determinar con exactitud el volumen de infiltración, las estimaciones de este parámetro se calcularon con base en una de las fórmulas parcialmente simplificadas ($P=R+ET+I$), Utilizadas para obtener el balance hidrológico en áreas relativamente pequeñas y con características geográficas que tienden a ser uniformes. Los datos de infiltración se establecieron de una manera aproximada, considerando el complemento de los coeficientes de escurrimiento que aparecen en las cartas hidrológicas (ciudad de México, escala 1: 250 000) . Este resultado se comparó con los datos obtenidos a partir del cálculo de la infiltración por medio de la fórmula anteriormente mencionada

El grado de conservación de esta cuenca indicará si en un futuro próximo el recurso hídrico será suficiente para abastecer el flujo subterráneo, los cursos de agua, y las demandas para múltiples usos de la población en la inmediata cuenca baja.

Se estima, por tal razón, que un estudio como el que se pretende contribuirá al replanteamiento del uso, manejo y conservación del agua, por parte de la administración política encargada y de la población en general. De igual modo los resultados obtenidos serán parte de la investigación hidrológica de México con un enfoque geográfico regional.

Marco de referencia

El río Pánuco y su respectiva cuenca constituyen una de las áreas de mayor importancia hidrográfica del territorio mexicano tanto por su extensión superficial y el volumen de agua que fluye hacia su desembocadura, como por el papel que desempeña, en su porción alta, como sistema de drenaje artificialmente conectado con la cuenca de México. También es importante por las obras hidráulicas que existen en varios de sus afluentes y por la población que ahí se encuentra ubicada.

La cuenca alta del Pánuco en su porción sur, está constituida por varias subcuencas circunscritas en la parte septentrional de la cuenca de México . Esto ha generado diversos problemas de contaminación de diferentes tipos aunque aguas abajo la calidad de agua mejora por la disolución de los contaminantes y la regeneración del agua por aireación o insolación.

Uno de los primeros afluentes que contribuye con su caudal a la disolución de contaminantes es el río Tepeji o llamado también San Jerónimo en su cuenca alta. Por este motivo se considera que el agua de esta cuenca juega un papel

importante y por lo tanto se debe procurar conservar su caudal y calidad de agua.

Con base en lo precedente se estimó pertinente un estudio hidrogeográfico de dicha cuenca para tratar de hacer un diagnóstico general que sea de utilidad para otros estudios posteriores de carácter particular enfocados al conocimiento más detallado de algún afluente y de un problema específico.

Inicialmente se pensó en hacer un estudio que abarcara una mayor área pero restringido únicamente a algunos parámetros morfométricos correlacionados exclusivamente con el escurrimiento. Sin embargo debido a la carencia de estaciones hidrométricas y de datos cronológicos suficientes, se optó por circunscribir el área de estudio hasta la cortina de la presa taximay.

Esta obra hidráulica tiene una problemática que aún no está estudiada con detalle y es básicamente el azolvamiento que se inició a partir de la carencia de un plan adecuado concerniente al manejo y conservación de esta cuenca. A priori se puede decir que conforme disminuye la cubierta vegetal, en la superficie de la zona de estudio disminuirá la retención de agua y la respuesta hidrológica de los afluentes y el colector principal tendrán un carácter torrencial; por este motivo el acarreo de azolves y la energía cinética del agua aportarán sólidos en suspensión cada vez en mayor cantidad, disminuyendo rápidamente la vida útil de la presa.

MARCO TEORICO

A manera de breve hipótesis se puede establecer, como planteamiento inicial, que el uso, manejo y conservación de la cuenca pueden ser mejorados evaluando la interacción de los aspectos fisiográficos y humanos por medio de estudios geográficos que conduzcan a una regionalización la cual conllevará a detectar áreas con una problemática específica, la cual posibilite establecer estrategias de solución más precisas y a mediano plazo.

Con base en estos planteamientos, para este tipo de estudio se considera necesario aplicar un análisis cuantitativo de la cuenca hidrográfica y de la dinámica fluvial; lo cual a su vez implica la medición y estudio de un conjunto de características asociadas que definen su realidad física. Entre los aspectos de *mayor relevancia se hallan los elementos de morfometría fluvial, estrechamente relacionados con la red de drenaje. La morfometría fluvial es la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial o cuenca*(López,1992).

Según Strahler (1990) el análisis cuantitativo de las redes lo inició Horton en

1945 quien con su sistema de ordenación de cauces hace cristalizar la idea de estructura jerárquica de las mallas de drenaje. En 1964 Strahler le hace algunas modificaciones a este método sencillo y universalmente aplicado. Los parámetros y variables más estudiados son: la red de drenaje: esta se refiere a la salida del flujo de agua de un territorio por medio de corrientes naturales dentro de la cual se consideran dos variables topológicas: orden de las corrientes, número de cauces, forma y tamaño de la cuenca (compacidad), circularidad, perímetro, superficie, razón de bifurcación.

Dentro de las variables lineales se tienen: longitudes de los cauces, longitud de cada orden de corriente, longitud total de cauces, etc.

De los elementos de intensidad fluvial se consideran la densidad de drenaje y la frecuencia de cauces.

Por último de los elementos del relieve se tiene en cuenta la altitud y la pendiente.

Los otros parámetros considerados son el clima, la geología, los suelos, la cobertura vegetal y la influencia antrópica.

El primer factor físico que influye preponderantemente en la hidrodinámica

de la cuenca es el clima. De sus elementos se utilizaron la precipitación y la temperatura para aplicar el análisis de Koeppen modificado por E. García y el balance hidrológico de la cuenca, considerando la ecuación más simplificada, que toma en cuenta, a las generalidades del ciclo hidrológico en su aspecto continental; esto implica tomar la precipitación (P) como ingreso único del agua a la cuenca y como salida a la infiltración (I), al escurrimiento (R) y al proceso combinado de evapotranspiración real (ET); este último componente del ciclo hidrológico es posible calcularlo, utilizando la precipitación en m.m y la temperatura media en grados centígrados de la cuenca, desarrollando la expresión matemática de Turc (Remenieras, 1986)

Esta simplificación parcial es necesaria debido a la carencia de mediciones precisas de la infiltración. En primer lugar porque casi siempre son registros puntuales, la mayor parte de las veces para su empleo en la agricultura. En segundo término influyen la capacidad de infiltración de los suelos y de las rocas lo cual está en función de la variedad estacional de las lluvias antecedentes, la cubierta vegetal, la duración de la lluvia, el grosor del suelo y el declive del terreno principalmente.

El balance hidrológico simplificado que se pretende aplicar con la fórmula $p=I+R+E.T.$ permite tener una idea inicial de los aspectos cuantitativos del ciclo hidrológico. Esta tendencia se observa en la bibliografía consultada y también

puede considerarse válida para las condiciones hidrogeográficas de muchas cuencas superficiales del territorio Mexicano

En cuanto a la litología se tiene en cuenta la resistencia a la erosión y su grado de permeabilidad o infiltración.

El suelo influye especialmente sobre el régimen hidrológico de la corriente y su transporte de material sólido (UNESCO-FAO,1975), ya que sus características físicas determinan la naturaleza y desarrollo de la vegetación e influyen en la aparición de la erosión y el arrastre de sólidos. Concretamente hay que estimar en relación a los suelos: su capacidad de infiltración y retención (texturas).

La cobertura vegetal condiciona la retención, la evaporación y el escurrimiento, ya que la vegetación controla la acción y el movimiento del agua: intercepción, infiltración, almacenamiento, evapotranspiración y erosión.

En el aspecto humano el hombre se convierte en el principal agente modificador del ciclo hidrológico, con el objetivo de suplir sus necesidades primordiales. Es así como el urbanismo, la agricultura, el pastoreo, la construcción de carreteras, presas, canales; contribuyen al desequilibrio de el régimen de escurrimientos, infiltración y evapotranspiración de una cuenca (UNESCO-FAO-1975).

1. Antecedentes de estudios en la zona

La metodología aplicada en este estudio ha sido abordada por autores como Martínez Luna (1982) y Meza Sánchez (1976). Esta última investigadora hizo un estudio del aspecto climático de la región que abarca este trabajo, pero sólo se refirió a la cuenca baja del río Tepeji. En cambio Oropeza Orozco (1976), trabajó sobre la cuenca alta pero sólo consideró el análisis geomorfológico. Sin embargo concretamente un estudio integral, es decir, apoyándose en el aspecto físico y humano no se ha realizado sobre la cuenca alta del río Tepeji. Por lo tanto se toma como un valioso aporte para conocer el grado de conservación de la recarga acuífera de una de las zonas hidrológicas más grandes e importantes del país.

Se cuenta también como referencia bibliográfica con el análisis descriptivo del uso del suelo del municipio Villa del Carbón, entidad política a la cual pertenece la cuenca en un 96.2 % (Ramos, 1984).

La importancia de los estudios precedentes radica en que sirven de apoyo para evaluar la modificación sufrida por el paisaje, y por consiguiente conocer los efectos negativos y positivos del manejo de la cuenca en la actualidad.

2. Exposición de los métodos empleados

La metodología empleada en la investigación constó de los siguientes pasos:

2.1 Selección de la cuenca.

Se escogió una cuenca en la que aún no se hubiera aplicado este tipo de estudio, la elegida fue la cuenca alta del río Tepeji; también conocida localmente como cuenca del río San Jerónimo, la cual constituye el origen del colector general del río Tula, afluente, de la cuenca alta del río Pánuco. Con el objetivo de conocer algunos parámetros lineales y superficiales más representativos de la cuenca y de la red fluvial, se efectuaron ciertas mediciones y se calcularon los coeficientes más importantes de acuerdo con el criterio de A.N. Strahler (1974). Estos parámetros sirvieron de base para determinar o correlacionar las características morfométricas de la cuenca con algunos datos de precipitación y la distribución geográfica de los coeficientes.

En primer término se delimitó la cuenca por medio de su divisoria en cargas topográficas en escala 1:50 000 de la Dirección General de Geografía del

Territorio Nacional. Se remarcaron y clasificaron los cauces de acuerdo a su número de orden.

Se detectaron, en algunos casos, omisiones de segmentos de primer orden, mismos que se trazaron con base en las curvas de nivel, incluyéndose dentro de los aspectos a cuantificar (Martínez, 1982).

2.2. Cálculo de áreas.

Se efectuó el cálculo del área total de la cuenca y las subcuencas, por medio de polígonos trazados sobre papel milimétrico. Se excluyó el uso del planimetro, porque se consideró este método más exacto. Las mediciones fueron acumulativas y a partir de los resultados se calcularon sus parámetros geomórficos superficiales.

2.3. Mediciones Lineales.

Después de conocer la estructura de la red hidrográfica en la cuenca, se procedió a efectuar los conteos, mediciones y cálculos de la morfometría lineal.

Las longitudes de los segmentos de cauces se midieron por medio de un curvómetro, del cual se empleó la escala 1: 50 000 de su diagrama de lectura.

El sistema de medición se hizo en forma global para cada orden, de tal modo que las lecturas de las longitudes fueron acumulativas.

2.4. Elaboración del mapa base y de los temáticos

Se elaboraron cartas con objetivos particulares así: Una carta base donde se vació información general de la cuenca como: la corriente principal y los afluentes, carreteras, poblaciones importantes, altitudes representativas; para utilizarlas como referencia al describir características particulares de la cuenca. También una carta de densidad de drenaje para conocer en qué lugar se concentraba el mayor número de corriente por km^2 . Una carta de declives, una altimétrica, una orográfica y una carta base del sistema fluvial (sin curvas de nivel). Al sobreponer determinada carta sobre la otra permitió conocer la variación del paisaje de acuerdo a determinadas características físicas. Por ejemplo se pudo observar que las pendientes están asociadas a los cambios altimétricos.

Para completar las características físicas de la superficie de la cuenca, se

recurrió a las cartas temáticas de la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional a la misma escala. En estas se delimitaron y midieron las áreas correspondientes a la cobertura litológica, edafológica y el uso de suelo existentes dentro de la cuenca.

Para el conocimiento climático se consultó la carta de climas de escala 1:500 00 del I.N.E.G.I

2.5. Diseño de tablas de datos y gráficas.

Por último se elaboran tablas cuantitativas del número de segmentos de cauces, de las áreas por número de orden (*gráfica de relación bifurcación, gráfica de longitud de cauces, medida de los cauces por jerarquía*).

CAPITULO 1

1.0 LA CUENCA FLUVIAL

1.1 Concepto y definición

Muchos autores, definen a la cuenca fluvial, de forma particular o muy general. En este estudio se tratará de definir de tal manera que se adapte a los lineamientos que esta investigación se propone: es así como se llegó a considerar a la cuenca como una porción de la superficie continental, caracterizada por ser una unidad geomórfica e hidrográfica natural, cuyo escurrimiento superficial se dirige hacia un punto determinado como desembocadura en el cual concluye el conjunto de cauces o sistema fluviográfico.

1.2 Concepto de red hidrográfica

Se ha definido como: un conjunto de ríos o corrientes naturales, en los

cuales se moviliza el flujo de agua de una cuenca desde su nacimiento hasta su *desembocadura*.

1.3 La cuenca del río Tepeji

Se encuentra ubicada en el límite austral de la altiplanicie Mexicana y dentro del Sistema Volcánico Transveral entre los paralelos 19°35' y 19°58' de latitud norte y los meridianos 99°17'30" a 99°32' de longitud oeste (Meza, 1976).

Esta cuenca es parte de las estribaciones del noroeste de la sierra de las Cruces, las cuales localmente se conocen como serranías de Monte Alto y de Monte Bajo, estas se orientan en principio con rumbo suroeste a noroeste, hasta terminar con un alineamiento sur-norte.

La cuenca se ubica políticamente en el norte del Estado de México, en su mayor parte, y una mínima en el suroeste del Estado de Hidalgo (carta No. 1).

La Secretaría de Recursos Hidráulicos (Boletín Hidrológico no. 45 tomo I) ha dividido esta cuenca en dos porciones. La parte alta, del río Tepeji, que *abarca la zona de captación del escurrimiento que reconoce como nivel de base local a la presa Taxhimay*, que es hasta donde comprende el presente estudio; y



la parte baja, cuyo escurrimiento reconoce como nivel de base local a la presa Requena.

1.4 Localización particular de la zona de estudio

1.4.1 Por coordenadas extremas.

La cuenca alta del río Tepeji se ubica en el extremo norte del Estado de México y el suroeste del Estado de Hidalgo. Entre los paralelos $19^{\circ}30'45''$ a $19^{\circ}53'05''$ de latitud norte y entre los meridianos $99^{\circ}23'17''$ a $99^{\circ}35'45''$ de longitud oeste.

1.4.2. Posición geográfica de la cabecera y la desembocadura.

La cabecera de la cuenca alta del río Tepeji, se sitúa entre las estribaciones del cerro de La Bufa a 3500 m.s.n.m. y las estribaciones del cerro los Potrerillos al suroeste a 3605 m.s.n.m. y entre el paralelo $19^{\circ}35'12''$ de latitud norte y el meridiano $99^{\circ}32'13''$ de longitud oeste.

La desembocadura se localiza cerca de la población de San Luis Loma Alta (estado de México) entre el paralelo 19°50'10" de latitud norte y el meridiano 99°25'5" de longitud oeste.

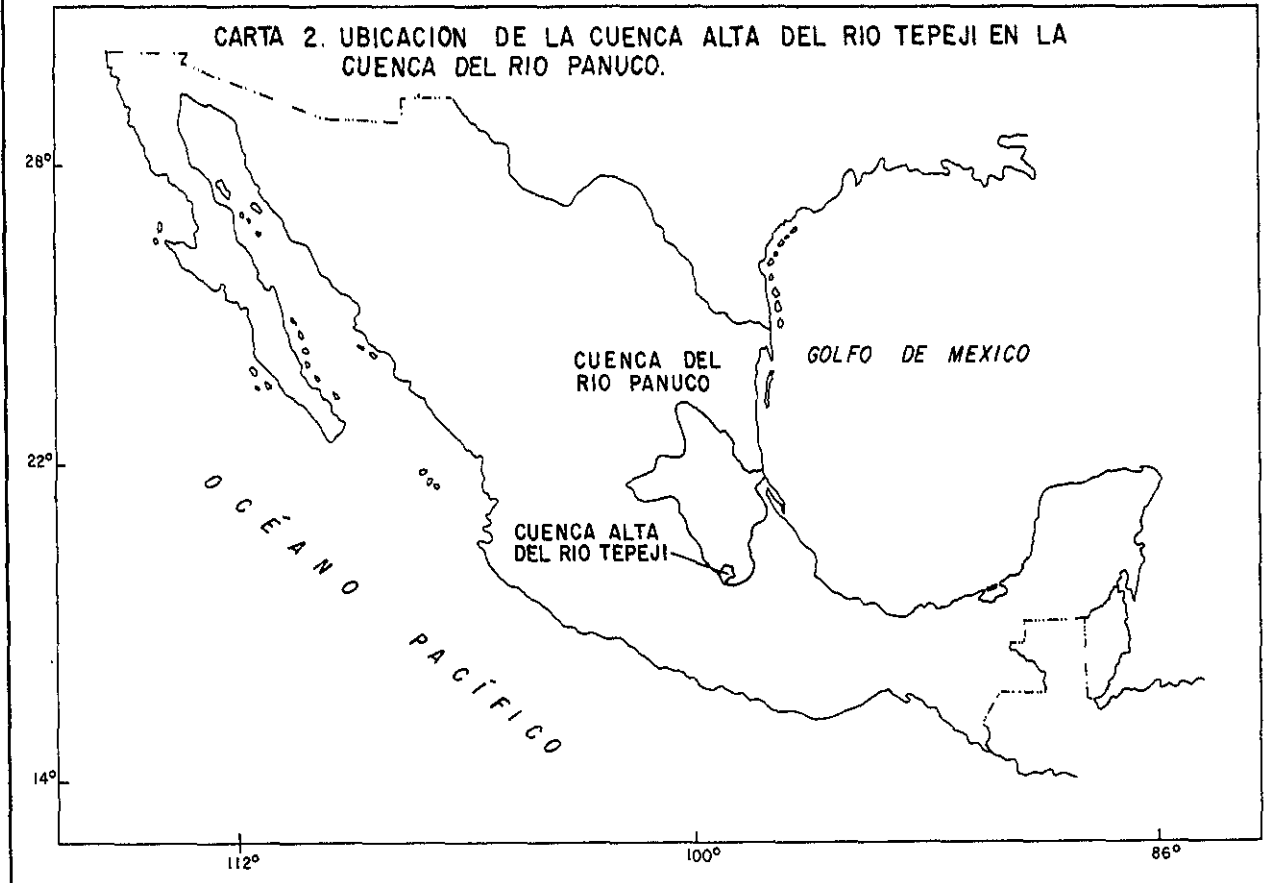
1.4.3 Ubicación en la gran cuenca hidrográfica a la que pertenece.

La cuenca del río Tepeji limita al este con la cuenca del Valle de México, lo que hace suponer que entre ellas existe una correlación genética, dadas las características estructurales y litológicas comunes, pues pertenecen a un vasto complejo volcánico del terciario medio (neógeno), de composición petrográfica muy variada, formada por la base de la sierra de las Cruces y Tepoztlán (Ramos, 1984).

Desde el punto de vista hidrológico la cuenca alta del río Tepeji, se ubica dentro de la región hidrológica Alto Pánuco-río Tula (No. 26). El río Tula constituye los orígenes del colector general de esta región; inicialmente se conoce como río San Jerónimo o río Tepeji (carta No. 2). Y tiene su nacimiento a una altura de 3500 m.s.n.m. entre el cerro de los Potrerillos y el cerro de La Bufa

El Río Tula después de recibir las aportaciones del río San Juan se conoce como río Moctezuma y en la llanura costera, como río Pánuco. Descarga en el

CARTA 2. UBICACION DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI EN LA CUENCA DEL RIO PANUCO.



Golfo de México, ligeramente aguas abajo de la ciudad de Tampico, Tamaulipas

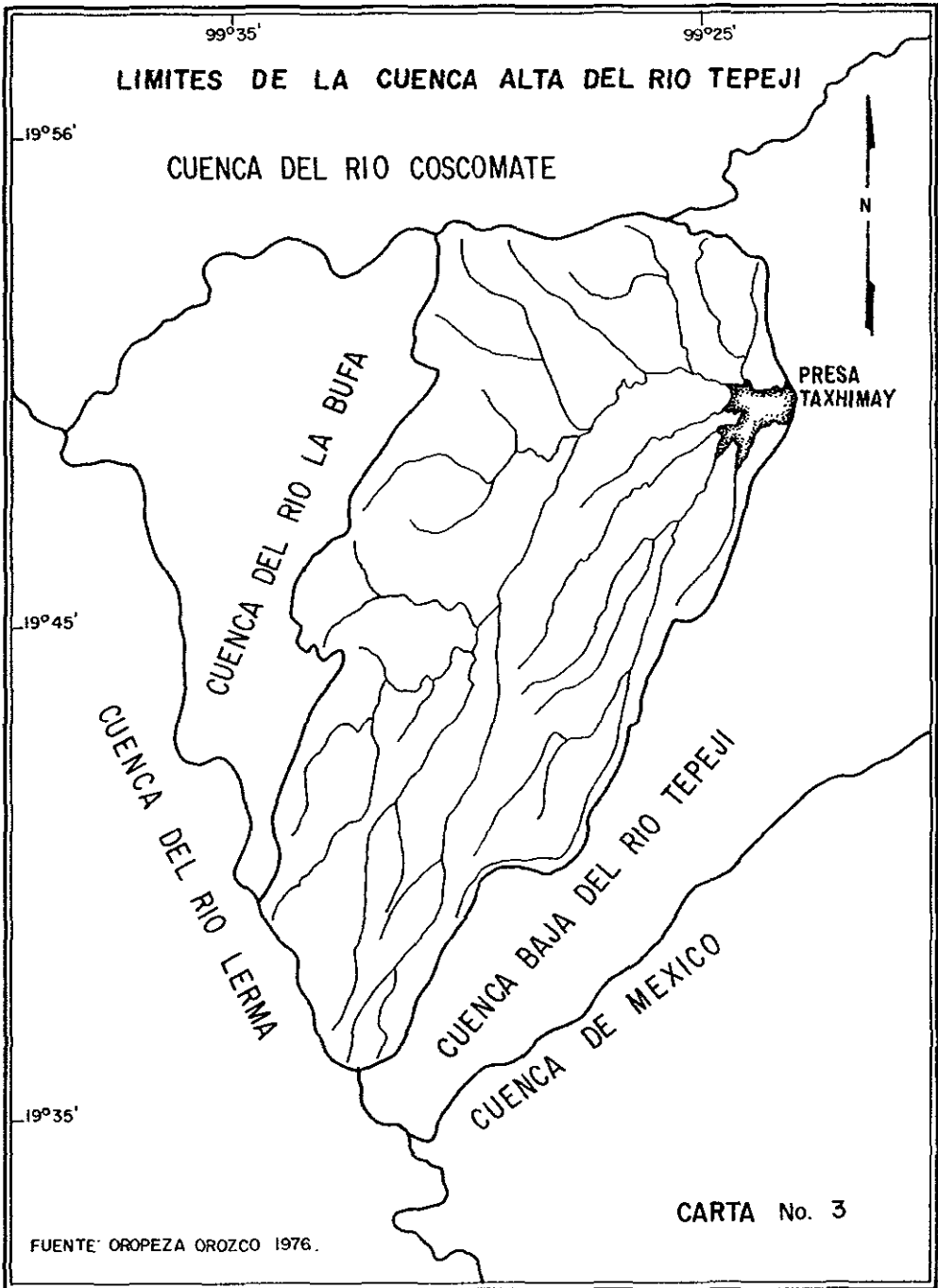
Este estudio comprende sólo el tramo inicial del colector general, donde es conocido como río San Jerónimo. Este río sigue un curso *nor-noroeste*, hasta que sus escurrimientos son controlados por la Presa Taxhimay, después de un recorrido de 37 Km.

1.4.4. Ubicación por vecindad con otras cuencas.

La cuenca alta del río Tepeji limita al noroeste, este y sureste, con la cuenca baja del mismo nombre, al suroeste con la cuenca alta del río Lerma, al oeste con el río La Bufa y al norte con la cuenca del río Coscomate (Oropeza, 1976). (carta No. 3).

1.4.5. Ubicación por entidad política y municipios.

Como antes se indicó la mayor parte de la cuenca alta del río Tepejí se ubica al norte del estado de México (96.2%) y sólo un 3.8% se localiza dentro del estado de Hidalgo.



FUENTE: OROPEZA OROZCO 1976.

CARTA No. 3

Dentro de esta cuenca se encuentran las poblaciones de Villa del Carbón y Chapa de Mota cabecera de los municipios del mismo nombre y San Luis Taxhimay, en el lado norte de la presa.

1.4.6. Ubicación por regiones geomórficas y orogenéticas.

La región de estudio, se localiza en las formaciones montañosas que corresponden o derivan de la sierra de la Cruces: las serranías de Monte Alto y de Monte Bajo; localizadas al sur y oeste de la zona, así mismo también hace parte de la sierra de las Masas en el centro oeste y la sierra de Jilotepec; al noroeste de la cuenca. Estas sierras antes mencionadas constituyen parte del gran complejo del Sistema Volcánico transversal (ver pág. 26).

1.4.7. Accesibilidad a la cuenca.

La cuenca está comunicada por una carretera de primer orden y una extensa red de caminos vecinales.

Anteriormente, uno de los medios que existían para comunicar a la cuenca con la ciudad de México, era el ferrocarril, que unía a la ciudad de México con

Querétaro, y aunque éste pasaba en su parte más cercana por el poblado de Ixtlahuaca, situada a 40 Km de una de las cabeceras de mayor población, la de Villa del Carbón, sirvió para movilizar a un gran número de personas y mercancías de las poblaciones anexas.

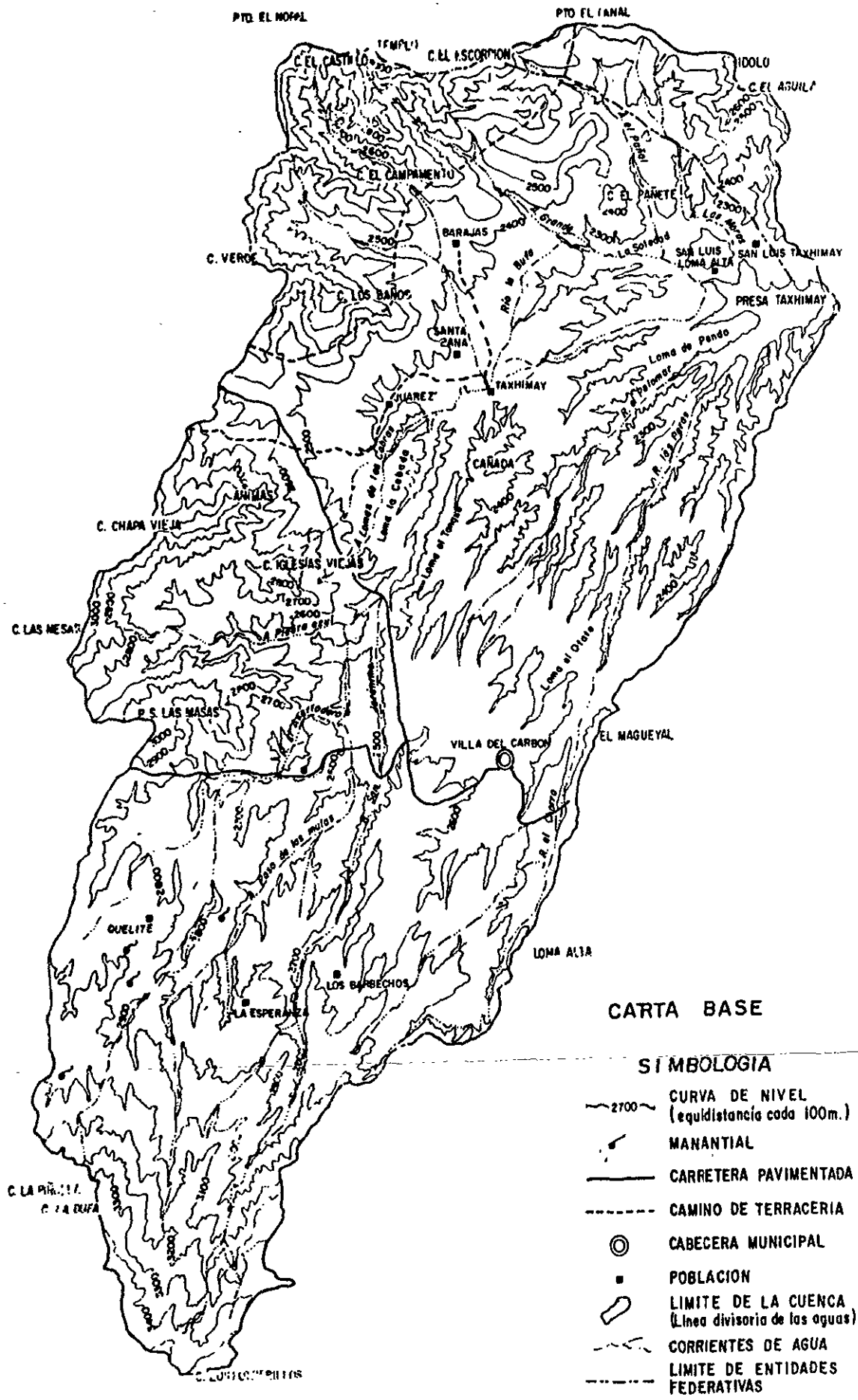
Hoy ha caído en desuso, debido a la lejanía y principalmente a la construcción de la autopista México-Querétaro (denominada carretera de cuota No. 57), de la cual se desprende un ramal a la altura de la ciudad de Tlanepantla que va hasta Villa del Carbón, pasando por la población de Nicolás Romero. De Villa del Carbón parte un ramal, que va a Chapa de Mota, población ubicada al noroeste de la cuenca.

Además existen caminos vecinales que van al Chorro, Loma Alta, San Martín, Cachihuapan, San Luis Anáhuac, Monte de Peña, Los Arana, La Esperanza, Llano de Zacapexco, La Cañada y San Luis Taxhimay, Existen brechas a El Ocotál, El Bosque, Pueblo Nuevo, Las Moras, entre otros (carta no. 4).

1.5. Dimenciones de la cuenca










Estas dimensiones se determinaron, efectuando medidas indirectas sobre

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI

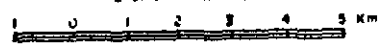


CARTA BASE

SIMBOLOGIA

-  CURVA DE NIVEL (equidistancia cada 100m.)
-  MANANTIAL
-  CARRETERA PAVIMENTADA
-  CAMINO DE TERRACERIA
-  CABECERA MUNICIPAL
-  POBLACION
-  LIMITE DE LA CUENCA (Linea divisoria de las aguas)
-  CORRIENTES DE AGUA
-  LIMITE DE ENTIDADES FEDERATIVAS

ESCALA GRAFICA



CARTA 4

una carta topográfica, tomando como referencia montañas o poblaciones en línea recta, para conocer algunos parámetros geomorfométricos según el relieve, altitud de la cuenca, longitud de la red fluvial, frecuencia de cauces y densidad de drenaje, e.t.c.

1.5.1 Largo y Ancho Principales.

Para conocer el largo de la región de estudio, se hicieron dos mediciones: de Puerto El Panal en el extremo norte, a la población La esperanza en el sur; al unir estos dos puntos por medio de una línea recta se obtuvo una distancia de 25 Km. De la población La Esperanza se trazó otra línea recta hasta el cerro los Potrerillos, el lugar más alejado y alto ubicado en el extremo sur; de esta medición se obtuvo una distancia de 10 km que sumada a la anterior dan un total de 35 km.

Para definir el ancho, se realizaron tres mediciones: en el norte, centro y sur de la cuenca.

Al norte se midió del extremo este de la presa Taxhimay al extremo oeste cerca del cerro las Pilas, determinándose un ancho de 15 Km

En el centro se alcanzaron 14 Km, desde la población de la Palma, al oeste, hasta el este, cerca de la población de Villa del Carbón.

En el sur se midió desde la cota de los 2900 m.s.n.m., cerca de la población El Cuervo en el oeste de la cuenca, hasta el este, al sur de la población El Ocotal; el resultado fue de 10.75 Km.

Al promediarse las tres medidas, se obtuvo un ancho total de 13.25 Km.

En resumen se puede decir que la cuenca alta del río Tepeji, posee de largo 35 Km y de ancho 13.25; lo que explica su forma alargada.

1.5.2. Longitud del perímetro.

Este parámetro de la cuenca, se obtuvo por medio del curvímetero, el cual mostró un perímetro de 93 Km.

1.5.3. Relación de Circularidad y Coeficiente de Compacidad.

La fórmula de Gravelius es un índice numérico que relaciona el perímetro

de la cuenca, con el de la circunferencia de un círculo de igual área que la de aquella. Compara el valor mínimo que se obtiene, que es la unidad, con el índice de la cuenca, si este resulta mayor que la unidad, será menos parecida a un círculo (Strahler, 1974)

$K = 0.8 P/A$ de donde

$0.28 = k$ (constante)

P = perímetro de la cuenca

Para la cuenca en estudio se tiene que:

$P = 93 \text{ Km}$

$A = 369 \text{ Km}^2 = 19.20 \text{ Km}$.

Entonces:

$K = 0.28 \times 93 \text{ Km} / 19.20 \text{ Km} = 0.28 \times 4.84$.

$K = 1.35$.

Como puede verse, también este resultado indica que la cuenca presenta una forma alargada. Lo anterior implica que pueden ocurrir retardos en los volúmenes de escurrimientos o bien tienden a ser más uniformes.

1.5.4 Area de la cuenca

La superficie de una cuenca está determinada por una divisoria topográfica o parteaguas y comprende la extensión de terreno que se encuentra dentro de esta línea de separación, para conocer el área de la cuenca alta del río Tepeji se efectuó un procedimiento geométrico; que consistió en trazar el contorno de la cuenca sobre papel milimétrico, para posteriormente dibujar sobre la superficie de ésta, diferentes polígonos, a los que se les calculó el área.

La suma de estas áreas permitió obtener el área total de toda la cuenca, la cual fue de 369 km².

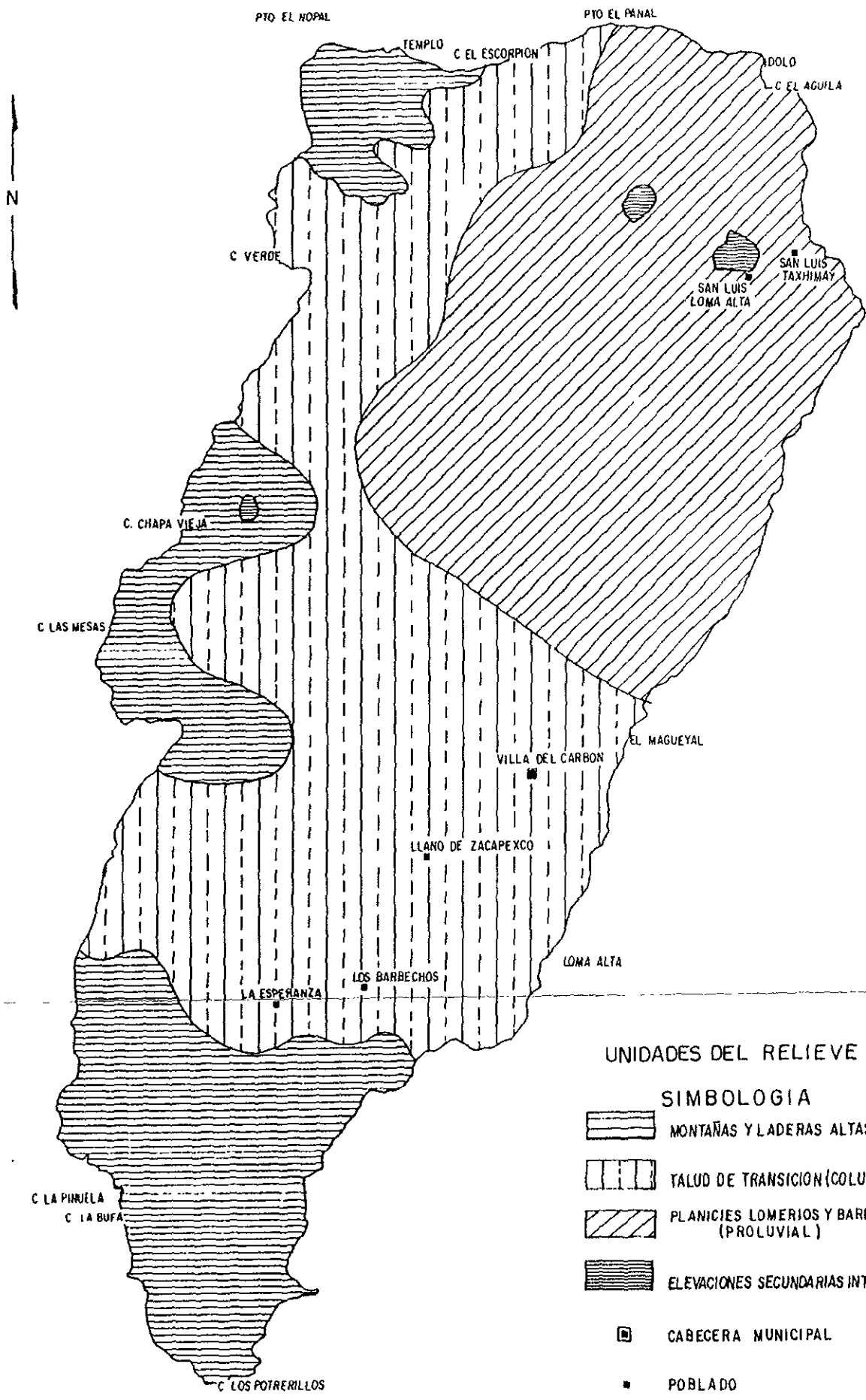
1.6 Descripción orográfica de la cuenca

En el área estudiada se encuentran tres principales estructuras: montañas altas, piedemonte y planicie, (carta no. 5).

Las montañas y laderas altas son relieves derivados de las serranías de Monte alto y de Monte Bajo, Las Masas y Jilotepec. La génesis de estas sierras es volcánica en sus inicios y posteriormente sufren una fase tectónica, en la que los procesos de fracturamiento y levantamiento fueron importantes.





La segunda estructura está constituida por una subplanicie de piedemonte

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI




UNIDADES DEL RELIEVE

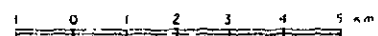
SIMBOLOGIA

-  MONTAÑAS Y LADERAS ALTAS
-  TALUD DE TRANSICION (COLUVIAL)
-  PLANICIES LOMERIOS Y BARRANCAS (PROLUVIAL)
-  ELEVACIONES SECUNDARIAS INTERNAS

 CABECERA MUNICIPAL

 POBLADO

ESCALA GRAFICA



CARTA 5

o talud de transición representada por una zona de lomeríos y barrancas, ambos de dimensiones medianas.

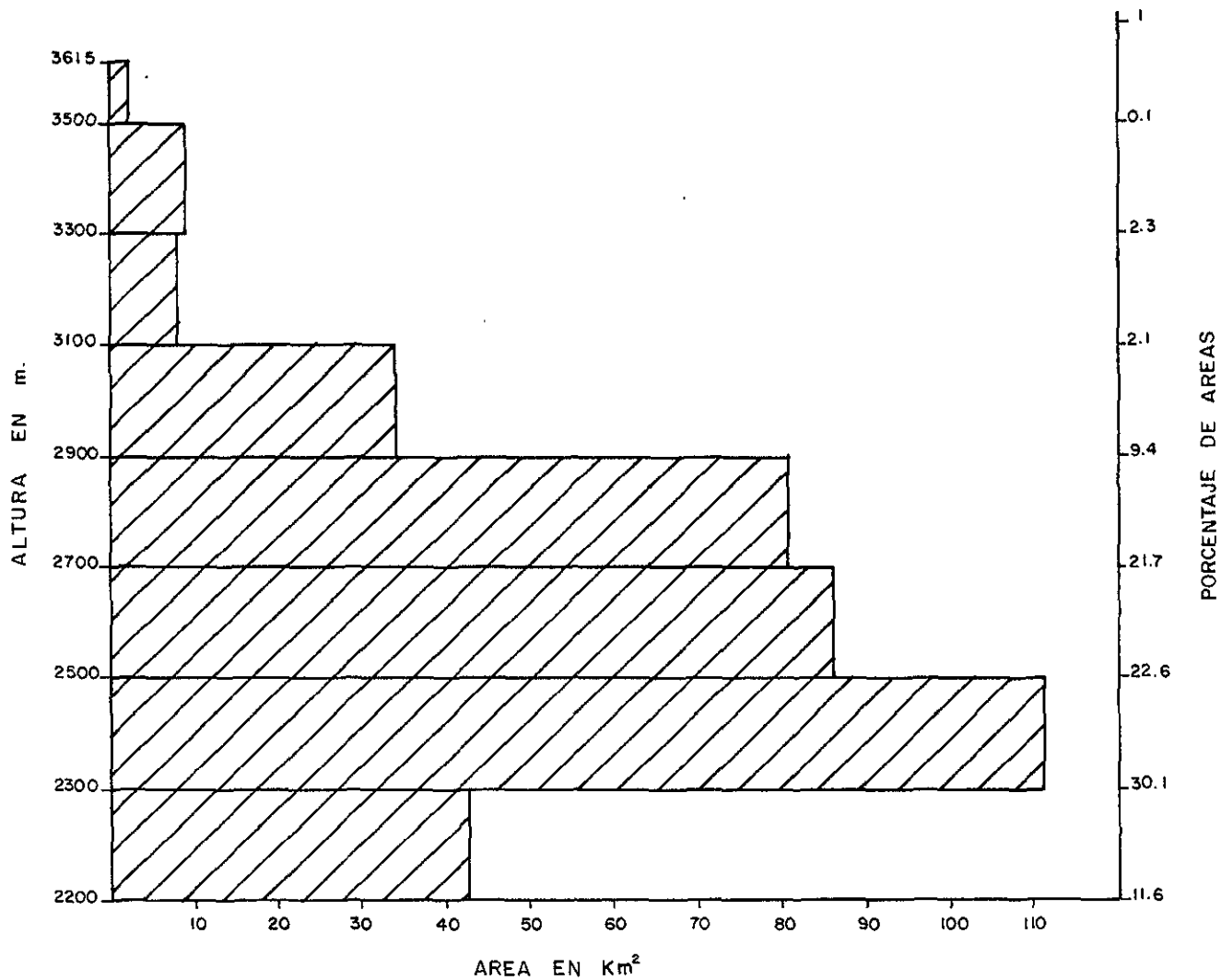
El tercer elemento está representado por la planicie de la cuenca hidrográfica o depresión Taxhimay, en donde existen varios tipos de relieve que varían entre sí, ya sea por sus pendientes, por sus estructuras o por su litología (Oropeza, 1976).

1.6.1 Histograma de frecuencias altimétricas.

Según la gráfica no. 1 de histogramas de frecuencias altimétricas, se puede observar en la cuenca alta del río Tepeji, desde el punto de vista topográfico, una zona de montaña, una región de elevaciones medias o talud de transición y una zona de planicies.

Respecto a la superficie que cubren las zonas en relación con el área total de la cuenca, la más extensa es la zona de elevaciones medias o talud de transición con 163.9 Km², que corresponde a un porcentaje de 41.67% le sigue muy de cerca la zona de planicie con una extensión de 153.6 Km² que equivalen al 44.4%, el tercer lugar lo ocupa la zona de montaña con una área de 50.9 Km² que corresponden al 13.8%.

GRAFICA No 1 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMETRICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI.



En general el relieve que se presenta en la cuenca es ondulado con una altura media de 2600 m.s.n.m.

1.6.2. Descripción del sistema orográfico y principales características geolíticas.

El sistema montañoso de la cuenca sobrepasa los 3000 m.s.n.m., su composición litológica es heterogénea; a base de andesitas, traquiandesitas, fonolitas y brechas volcánicas, cuya coloración, compactación y estados de alteración son muy diversos.

De la serranía de Monte Alto, se desprenden las principales elevaciones de la cuenca, en el extremo sur sobre la cabecera se ubica el cerro Los Potrerillos, con 3605 m.s.n.m. la mayor elevación de la cuenca; en dirección suroeste se localiza el cerro de La Bufa, con 3 500 m.s.n.m. la segunda elevación en importancia.

Siguiendo la dirección noroeste se destaca la serranía de las Masas, de la cual hacen parte los cerros: La Peña con 3 400 m.s.n.m.; Los Idolos con 3 100 m.s.n.m., Las Animas con 3 050 m.s.n.m. y el cerro Iglesias Viejas con 2 950.

De las estribaciones de la serranía de Jilotepec, con dirección suroeste noreste se desprenden las siguientes elevaciones en el límite del parteaguas norte, de oeste a este: Cerro El Templo (3200 m.s.n.m.), cerro del Escorpión (2750 m.s.n.m.), Veinte Barrancas (2455 m.s.n.m.) y los cerros los Jarros y la Idolatría, con (2655 m.s.n.m).

En el este de la cuenca, se encuentran las menores elevaciones compuestas por una serie de planicies elevadas, que de este a oeste son: Loma Alta, San Lucas, El Ocotal, Llano de Zacapexco, Los Arana y la Esperanza localizadas entre las cotas de 2500 m.s.n.m. a los 2400 m.s.n.m. La estructura más elevada es el pedimento de Villa del Carbón situada al norte de la Serranía de Monte Alto y Monte Bajo, aproximadamente entre las cotas de los 2600 m.s.n.m. a los 3000 m.s.n.m., ésta continua hacia el este de la sierra de las Masas, donde se reduce considerablemente, abarcando una superficie que va de los 2450 m.s.n.m., a los 2600 m.s.n.m. La planicie de menor altitud es la depresión residual Taxhimay a 2200 m.s.n.m.; según estudios litológicos, (Ramos, 1984), esta depresión antiguamente formaba parte de una cuenca lacustre de mayores dimensiones y por efecto de la actividad tectónica y volcánica sufrió un levantamiento con respecto al antiguo nivel de base, ascenso que seguramente continua en la actualidad, convirtiéndola en una cuenca residual, la respuesta a tal levantamiento fue un intenso desarrollo de barrancos, con interfluvios dispuestos a manera de lomeríos.

Del río San Jerónimo hacia el oeste, y de Villa del Carbón, hacia la presa Taxhimay, las lomas presentan un paralelismo bastante claro; de oeste a este se encuentran La Carrera, La Cebada, El Tanque, El Ocote, La Tórtola, a una altitud de 2400 m.s.n.m.

1.6.3. Curva hipsográfica e hipsométrica.

La curva hipsográfica permite representar a manera de perfil topográfico, como es la distribución de las áreas con respecto a la altitud (cuadro no. 1)

Este perfil permite además tener una idea inicial de los valores areales en correspondencia con la unidades básicas del terreno, ya que muestra los puntos *de inflexión (donde cambia la pendiente)*. A partir de estas inflexiones es factible determinar aproximadamente cuales son los tramos que corresponden a cada unidad geomorfológica básica (gráfica no. 2).

En la gráfica hipsográfica de la cuenca se observa una tendencia a procesos erosivos naturales que son tanto físico-químico como biológicos, gravitacionales e hídricos ya que las áreas ocupadas por las montañas poseen una superficie reducida por efecto de trabajo de dichos procesos. Este análisis morfoaltimétrico se complementa aún más con la curva integral hipsométrica

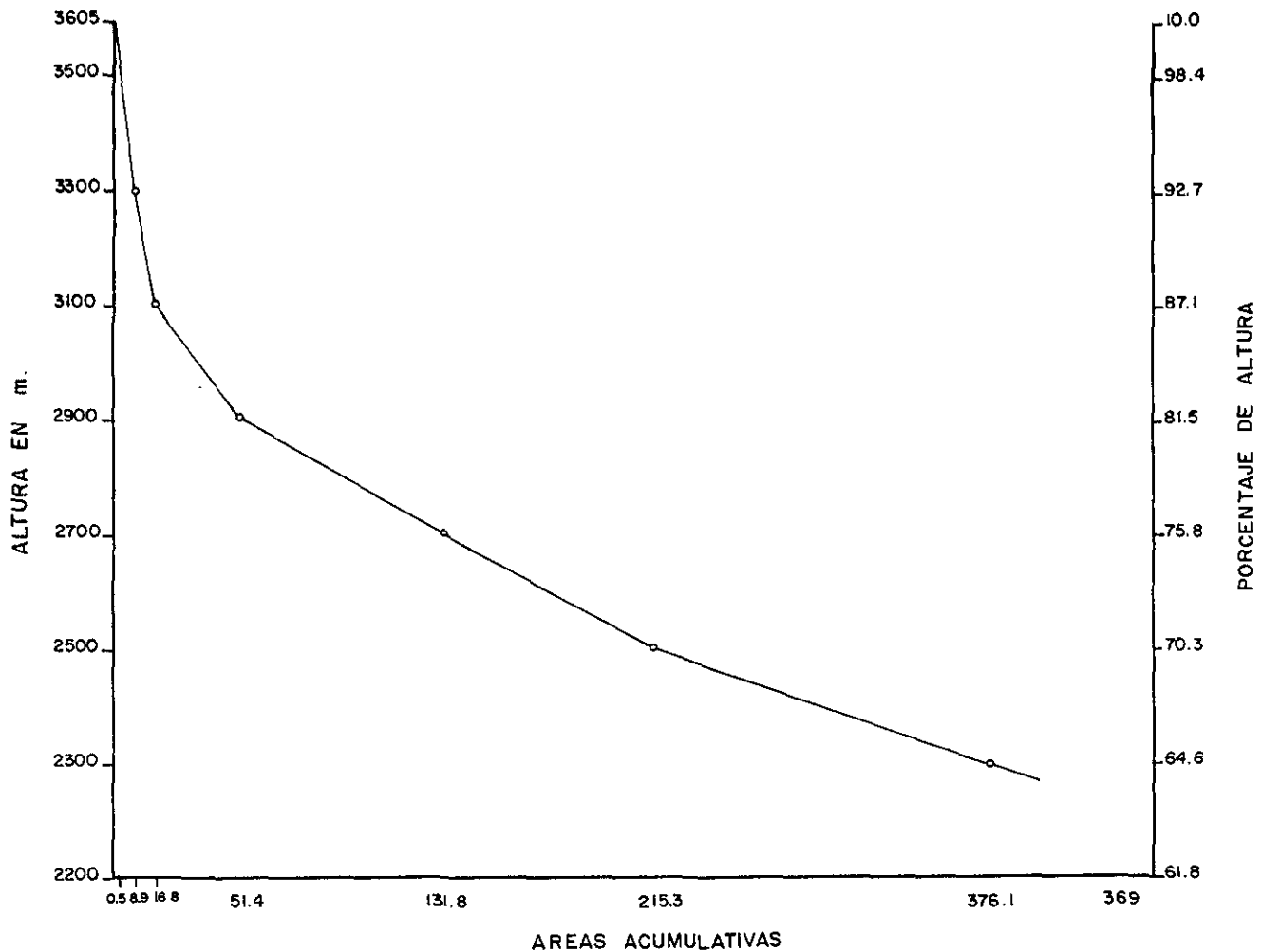
CUADRO No. 1**FRANJAS ALTIMETRICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI**

(No FR)	1	2	3	4	5	6	7
1	3558-3500	58	1358-1300	0.5	0.5	0.1	0.13
2	3500-3300	200	1300-1100	8.4	8.9	7.8	7.41
3	3300-3100	200	1100-900	8	16.8	2.1	4.55
4	3100-2900	200	900-700	34.6	51.4	9.4	13.92
5	2900-2700	200	700-500	80.4	131.8	21.8	35.7
6	2700-2500	200	500-300	83.5	215.3	22.6	58.34
7	2500-2300	200	300-100	110.8	326.1	30	88.37
8	2300-2200	100	100-0	42.8	369	11.6	100

(No.FR) NUMERO DE FRANJAS ALTIMETRICAS

- (1) Altitudes en m.s.n.m
- (2) Diferencia en metros
- (3) Alturas en metros
- (4) Areas en Km²
- (5) Areas acumulativas
- (6) Porcentaje de áreas
- (7) Porcentaje de áreas acumulativas

GRAFICA No 2 CURVA HIPSOGRAFICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI



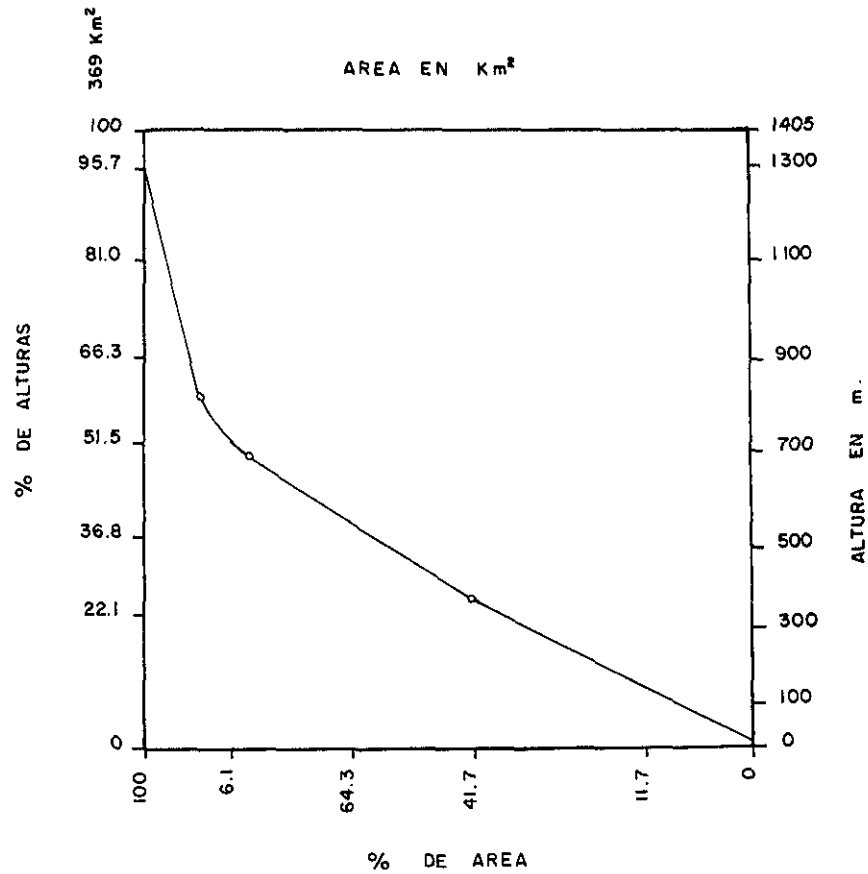
(gráfica no. 3), cuyo diagrama se basa en un concepto ecológico concerniente al ingreso de materia y energía en un sistema abierto, el cual con el transcurso del tiempo tiene una serie de transformaciones de tal manera que va evolucionando y arrojando fuera del sistema, una cantidad de materia, dando una idea del volumen de roca inicial, la que se ha perdido y cuanto queda aún.

En la cuenca alta del río Tepeji de un porcentaje teórico de 100% el 69.86% de roca se ha perdido y sólo queda el 30.14% lo que indica que es una cuenca altamente erosionada, tal vez por la escasa resistencia de las rocas a dichos procesos; esto se confirma por la existencia de laderas, en las que el declive presenta un valor notable. En estos sitios el escurrimiento del agua adquiere una mayor energía cinética, que favorece, la erosión y el transporte de materiales hacia las partes bajas, contribuyendo al azolve de la presa (carta No. 6)

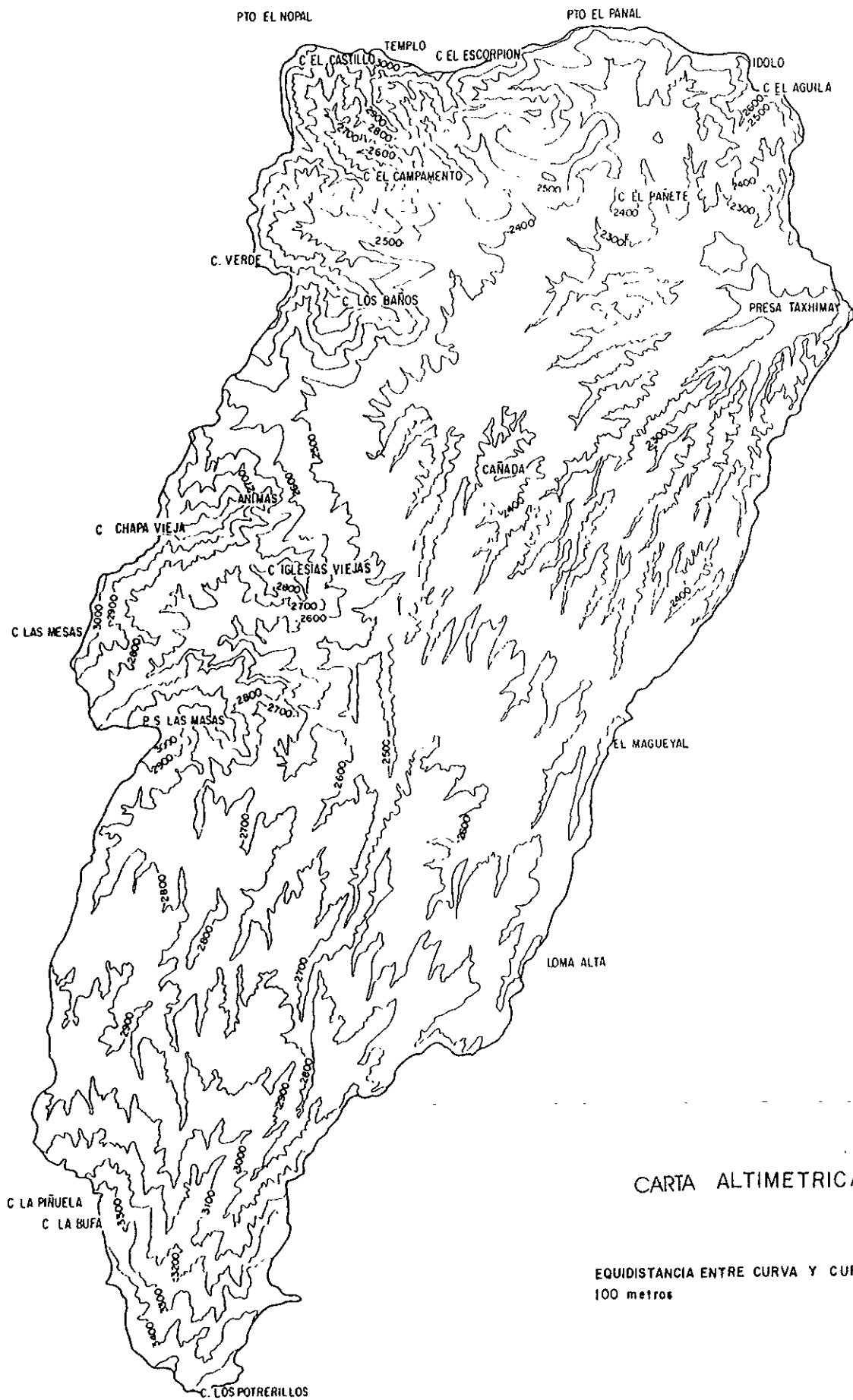
1.6.4. Descripción del declive de la cuenca.

La pendiente del relieve es uno de los factores físicos que controlan el tiempo de flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. El incremento del declive incide en la capacidad de erosión de las corrientes, la concentración de sedimento y la disminución de la

GRAFICA No. 3 CURVA INTEGRAL HIPSOMETRICA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI



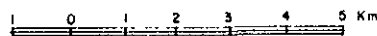
CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI



CARTA ALTIMETRICA

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVA Y CURVA
100 metros

ESCALA GRAFICA



CARTA 6

99° 35' 99° 30' 99° 25'

infiltración.

Para la estimación de la pendiente se elaboró una carta de declives, (carta No. 7) empleando curvas de nivel equidistantes cada 100 m, sobre estas se trazaron franjas altimétricas por cada dos curvas de nivel, con base en una regla de pendientes que se elaboró con lo siguientes rangos: > 45°, 45°.24°, 24°-12°, 12°-6°, 6°-3°, 3°-1.5.

También se obtuvo la pendiente media, aplicando la fórmula de Alvord; según la cual la pendiente media de una cuenca es igual a la longitud total de las curvas de nivel multiplicando por el intervalo de dichas curvas y dividido entre la superficie total de la cuenca (Strahler, 1974).

$$D= 100 \text{ m} = 0.1 \text{ km}$$

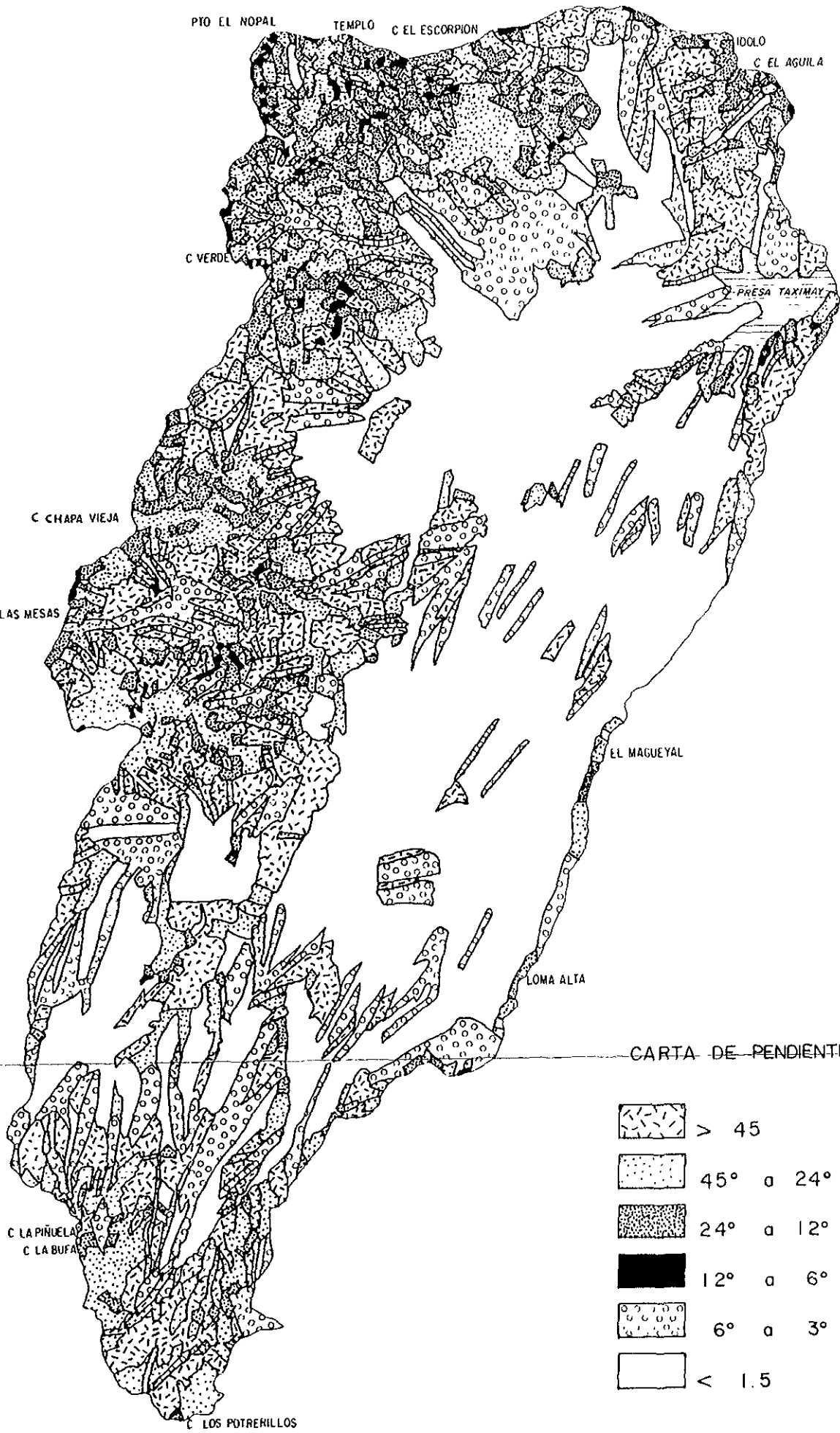
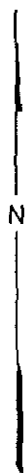
$$L= 800 \text{ Km}$$

$$A=369 \text{ Km}^2$$

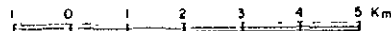
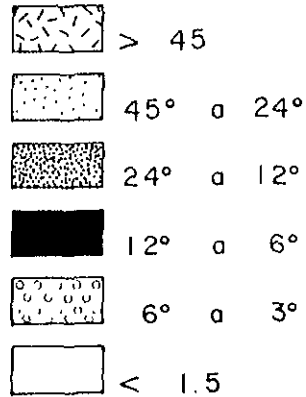
$$P= \frac{D \times L}{A} = \frac{0.1 \text{ km} \times 800 \text{ km}}{369} = 0.216$$

El porcentaje es igual a 21% que, en grados equivale a 12°11'19", valor que es alto y que determina el alto poder erosivo de las corrientes.

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI



CARTA DE PENDIENTES



CARTA 7

99° 35'

99° 30'

99° 25'

19° 35'

Con base en la carta de declives se puede decir que, las mayores pendientes están relacionadas, con las altas laderas, de las elevaciones más representativas de la cuenca ubicadas al sur, oeste y noroeste; en estas áreas los declives fluctúan entre los 45° y 24° y corresponden al 15% del área total, entre las altitudes mayores se tienen: El Cerro los Potrerillos (3605), La Bufa (3500 m.s.n.m.), Los Idolos (3100 m.s.n.m.), Cerro Animas (3050 m.s.n.m.), Los Baños (2950 m.s.n.m.), Cerro el Campamento (2850 m.s.n.m.) y cerro El Castillo (3100 m.s.n.m.).

Las formas originales de las serranías de Monte Alto, Monte Bajo, Las Masas y Jilotepec de las cuales se derivan los anteriores relieves, han sido destruidas en gran parte por la erosión predominando en las cumbres las formas redondeadas, sin embargo en los flancos también se encuentran acantilados relativamente pequeños con pendientes pronunciadas (>24°).

En este lugar se presenta una alta densidad de cauces de primer orden, cuya red hidrográfica posee mayor definición, estos escurrimientos son los que dan origen a los cauces principales. En estas zonas de altas pendientes se observa una mayor disección fluvial asociada a materiales andesíticos y brechas volcánicas. Las formas originales de estos relieves han sido destruidos en gran parte por la erosión, predominando en las cumbres las formas redondeadas, sin embargo en los flancos también hay formas de acantilados relativamente

pequeños (Meza, 1976),

A medida que se avanza de suroeste a noroeste, y de oeste a este, los declives disminuyen de valor, hasta los 12°, abarcando una superficie del 35% del total de la cuenca; igualmente la altitud disminuye, encontrándose elevaciones entre lo 2700 m.s.n.m. a los 2500 m.s.n.m.; como es el caso de la red fluvial, en dirección noroeste, hacia su nivel de base, quien ha labrado pequeños cañones y cañadas para ampliar sus valles con pendientes mayores a los 6°.

Aquí las corrientes presentan cursos largos y una alta densidad, que drena los suelos compuestos por areniscas y tobas; las cuales cerca de la presa Taxhimay sufren fuertes procesos de erosión hídrica.

En cuanto a los relieves, aislados, estos están representados por lomeríos paralelos de noroeste a noreste y algunas planicies como la de Villa del Carbón y la Soledad con 2700 m.s.n.m. y 2450 m.s.n.m. respectivamente; en este sector las pendientes oscilan entre los 16° y los 12°. Al norte de la presa sobresale una elevación: El cerro el Pañete con 2450 m.s.n.m. en cuyas faldas nacen algunos afluentes del colector principal, el río San Jerónimo.

En general, la cuenca se caracteriza por presentar relieve ondulado, donde predominan montañosas elevadas, lomeríos aislados y altas planicies, lo

que implica que se presenten también pendientes elevadas, lo cual contribuye a acelerar la erosión sobre todo en suelos sin protección vegetal.

CAPITULO 2

2.0 LITOLOGIA GENERAL DE LA CUENCA

2.1 Datos geológicos

La porción septentrional del estado de México desde el punto de vista geológico, posee una gran diversidad de rocas pertenecientes a casi todas las eras geológicas. Su territorio muestra los vestigios de los diversos procesos que llevaron a su formación; la cuenca alta del río Tepejí o San Jerónimo localizada en esta porción territorial se originó a partir de ellos.

Se considera que la base de la sierra de las Cruces, cuyas estribaciones se introducen en la región de estudio, se formó desde el oligoceno medio hasta finales del mioceno por emisiones volcánicas. Estas épocas se caracterizaron por presentar gran actividad volcánica, es probablemente que a partir de la emisión de lavas andesíticas en el plioceno medio se empiecen a formar los macizos de esta sierra. A finales de este período disminuye la actividad volcánica dando

paso a un tectonismo que produjo grandes afallamientos en bloques y finalmente en el era cenozoica quedó constituida la cuenca del río San Jerónimo (Ramos, 1984).

2.2 Los principales tipos de rocas y su localización

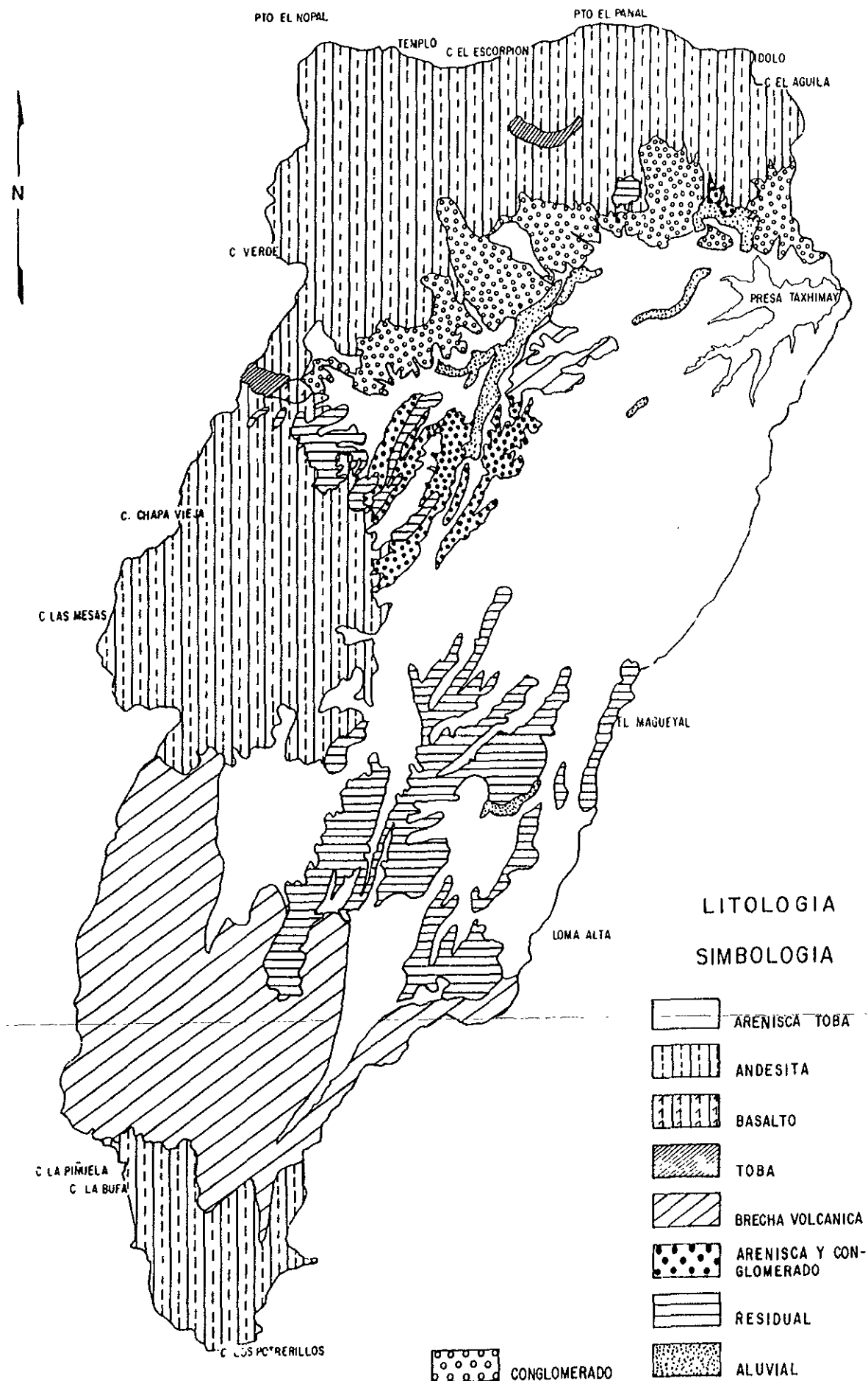
La estructura geológica de la región en estudio esta compuesta principalmente por tres tipos de rocas: rocas ígneas, rocas sedimentarias y suelo residual y aluviones. (carta no. 8); éste documento gráfico se elaboró con base en las cartas geológicas del I.N.E.G.I. escala 1: 50 000 en las cuales no están incluidas edades o formaciones estratigráficas.

2.2.1. Rocas ígneas.

Este grupo está representado por andesitas, basaltos, tobas y brechas volcánicas.

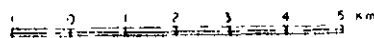
2.2.1.1. Andesitas

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI



CARTA B

ESCALA GRAFICA



Estas rocas extrusivas intermedias, son materiales de grano fino y composición intermedia entre el granito y el basalto. (Leet, 1989).

En la cuenca se ubican en las partes más altas, del sur, oeste y noroeste sobre las cotas de los 2600 m.s.n.m. a los 3000 m.s.n.m. Cubren una superficie de 124 Km² equivalentes al 33.6% del área total.

2.2.1.2. Basalto

El basalto es una roca de grano fino y de color gris oscuro; su composición mineralógica es la siguiente: una parte de feldespato plagioclasa más una parte de ferromagnesianos. En la cuenca se ubica en un área pequeña, al este de Chapa de Mota y norte del arroyo Dañé; a una altitud de 2600 m.s.n.m., sólo representa el 0.13% es decir, 0.5 Km² del área total.

2.2.1.3. Tobas

Las tobas están formadas principalmente por cenizas o arenas volcánicas son de origen explosivo y poseen un diámetro de 4 mm.

Esta subunidad se encuentra localizada al norte de la cuenca, sobre la

cota de 2650 m.s.n.m. al sur de la estribaciones del cerro El escorpión a 2950 m.s.n.m., ocupa el 1.5%,de la superficie total que corresponde a 5 km² de la misma.

2.2.1.4. Brecha Volcánica.

Son depósitos piroclásticos que contienen bloques angulares de lava solidificada relativamente grandes incluidos en una masa de ceniza.

Esta formación se encuentra exclusivamente en la parte alta de la región sobre la cota de 2800 m.s.n.m. a los 3100. Sobre estos suelos están asentadas las poblaciones de La Manzana, El Quelite, Llano Grande y Loma Altita. Cubren una superficie de 11.7% del total lo que corresponde a 43.3 Km² de ésta.

2.2.2. Rocas sedimentarias

Están formadas por la consolidación de granos individuales del tamaño de la arena (de 1/16 mm a 2 mm de diámetro), principalmente granos de cuarzo, a menudo feldespato, mica y otros minerales consolidados, cementados y compactados hasta formar este tipo de rocas.

2.2.2.1. Areniscas

En la región las areniscas, están asociadas a las tobas y constituyen el material más abundante de la zona, distribuido desde la cota de los 2900 m.s.n.m. al sur de la cuenca hasta los 2300 m.s.n.m. bordeando la presa, tiende a extenderse más hacia el este que al oeste, cubriendo una extensión de 162.5 Km², es decir el 44.03% de la superficie de la cuenca.

2.2.2.2. Conglomerado

Son rocas de grava cementada, formada por partículas mayores a 2 mm de diámetro, en su mayoría cantos rodados y guijarros. En ellos abunda el cuarzo. Se extienden en la región formando un arco de dirección NWE; rodeando la formación anterior (areniscas-tobaceas) el cual abarca desde la población de Ventey al noroeste, hasta el norte de la población de San Luis Taxhimay en el noreste. La superficie que cubren es de 20 km² que equivalen 5.4% el área de la cuenca. Se encuentran también asociados con arenisca; ocupando una extensión de 7 Km² equivalentes al 1.89% de la superficie total; intercalándose con la unión de areniscas y tobas .

2.2.3. Suelo Residual.

El suelo residual se forma por la disolución de la calcita, roca de origen sedimentario; debido a la acción del intemperismo físico y químico.

Los suelos residuales se encuentran esparcidos al sureste entre las curvas de nivel de los 2700 m.s.n.m. a los 2900 m.s.n.m. y en el centro oeste sobre la cota de los 2500 m.s.n.m.; intercalados entre las formaciones rocosas de areniscas y tobas. Ocupan una superficie de 2.2 Km² que equivalen al 0.59% del total de la superficie.

2.2.4. Aluvial

Se le denomina aluvión a los sedimentos depositados por las corrientes fluviales, formando conos o abanicos, en el lecho o en la llanura de inundación, están compuestos por limos, arenas y arcillas.

En la cuenca alta del río Tepeji los depósitos de sedimentos se encuentran diseminados a lo largo de su valle fluvial; igualmente se localizan pero en menor proporción al noroeste, sobre la cota de los 2700 m.s.n.m. y la presa Taxhimay. Su extensión es de 8 km² es decir, el 2.1% de la superficie total.

2.3 La infiltración y el escurrimiento con respecto a las características de las rocas

El estudio de la geología es importante para determinar el grado de porosidad y permeabilidad del material presente en la cuenca (carta Núm. 8).

La porosidad de una roca está determinada por la proporción de huecos o intersticios y difiere de un material a otro (Ortiz, 1980), así:

Los depósitos de arcilla, limo, arena y grava sin consolidar pueden tener porosidades que varían entre el 20% y el 50%, pero cuando estos depósitos se consolidan y forman rocas sedimentarias por cementación, la porosidad se reduce notablemente; incluso una roca densa como las ígneas puede llegar a ser más porosa por fracturamiento que dichos depósitos.

Otro factor que determina el grado de infiltración, es la permeabilidad, que es la capacidad de los materiales para transmitir el agua y la aptitud para mantenerla.

Entre los materiales que pueden formar acuíferos y áreas de alimentación de las corrientes se encuentran, la arenisca, la grava sin consolidar y algunas calizas, también las zonas fracturadas de algunas rocas densas como el basalto,

y la andesita actúan como acuíferos, aunque la permeabilidad de estos sitios disminuye con la profundidad.

Respecto a la relación existente entre la litología y la infiltración de la cuenca, puede decirse que la cuenca presenta una infiltración media, producto de la combinación de materiales duros como la andesita, la brecha volcánica y los parcialmente blandos como lo son la asociación de areniscas y tobas. Todos ellos tienen características que permiten una absorción adecuada de agua.

En primer lugar las areniscas y tobas constituyen la formación más extensa (44%) particularmente la arenisca presenta características de alta porosidad, pero no poseen buena retención de agua. Sin embargo la permeabilidad puede bajar, si se encuentran minerales que compacten la arena, o que haya especialmente un alto contenido de arcilla; si se considera que las tobas que hacen parte de esta asociación, son una masa compactada de arenas o cenizas volcánicas. Se puede deducir que la unión de estos dos elementos origina una infiltración media del 25% con respecto a la lluvia. Este grado de porosidad es característico de la región de planicies del centro este de la cuenca.

En segundo lugar la presencia de rocas ígneas en la zona montañosa da lugar a la formación de recargas acuíferas; debido a que estos materiales volcánicos han sufrido fracturamiento producto de la contracción de sus

componentes al enfriarse, formándose poros intercomunicados que facilitan el paso del agua.

En esta zona encontramos manantiales cerca del cerro de La Bufa, en las inmediaciones del pueblo Santa María Quelites, La Manzana, El Águila y El cuervo, ubicados al suroeste de la cuenca.

La porción septentrional de la región de talud se encuentra cubierta por una superficie de 20 Km² de material conglomerado (carta no. 8) el cual presenta un grado de permeabilidad bajo originado por sus componentes.

Este tipo de material presenta mayor permabilidad en las zonas donde se encuentra asociado con areniscas, (centro de la cuenca).

Por último el material más permeable está formado por material residual y aluvial con un porcentaje del 25 % al 35% a lo largo de los valles fluviales del centro de la cuenca, dando lugar a una alta infiltración.

CAPITULO 3

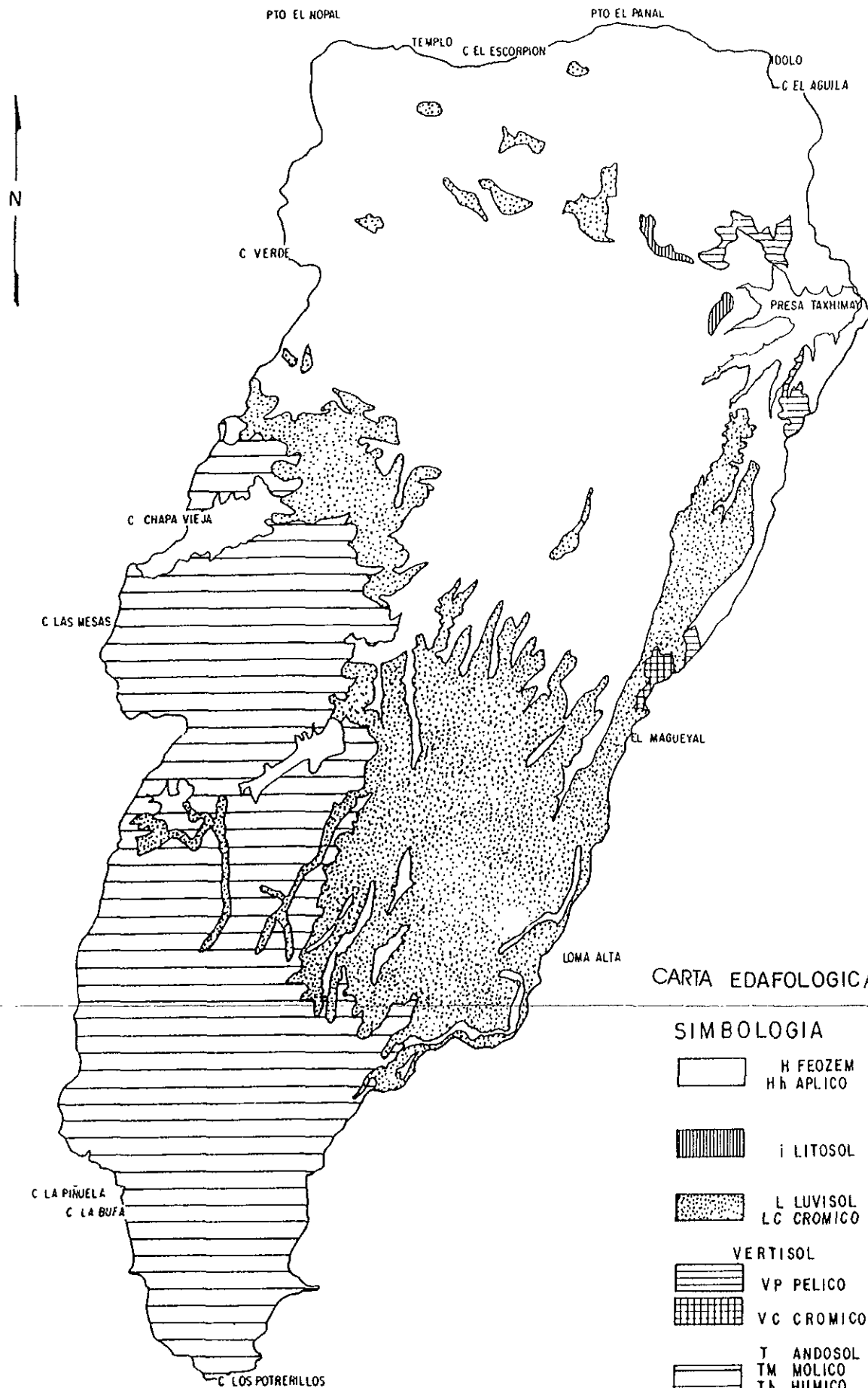
3.0 EDAFOLOGIA DE LA CUENCA

3.1. Características generales de los suelos

Las unidades de suelos presentes en la cuenca (carta no. 9) de mayor a menor área de cobertura son:







Tipo de suelo	Area	%
Feozem	154.62	41.9
Andosol	134.62	36.48
Luviosol	73.75	19.98
Litosol	1.5	0.40
Vertisol	0.5	0.13

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI

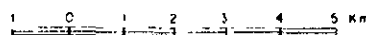


CARTA EDAFOLOGICA

SIMBOLOGIA

-  H FEZEM
Hh APLICO
-  i LITOSOL
-  L LUVISOL
LC CROMICO
- VERTISOL**
-  VP PELICO
-  VC CROMICO
-  T ANDOSOL
TM MOLICO
TH HUMICO
To OCRICO

ESCALA GRAFICA



CARTA 9

31.1. Feozem

Son los suelos que tienen un horizonte A mólico, carentes de un horizonte cálcico gypsico o concentraciones de cal suave pulvurenta dentro de los primeros 125 cm de profundidad; sin salinidad elevada; carentes de propiedades hidromòrficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad. La textura por lo general es de limo, migajón arcilloso, limoso. Con un rango de acidez de ácido a fuertemente calcáreo; se localizan en pendientes mayores a 9° (Tello, 1988). Estos suelos se desarrollan en depósitos del pleistoceno tardío, de tal manera que son relativamente jóvenes.

Dentro de esta unidad se encuentran dos subunidades: Los feozem hàplicos (H) y los feozem lùvicos (L); estos se localizan en la región montañosa del oeste, noroeste y las planicies del centro y este de la cuenca (carta no. 9). Los primeros tienen un horizonte A mólico, café oscuro, con una profundidad media de 34 cm; su estructura es ligeramente aterronada y dura; es raro que se presente un horizonte B, aunque en algunos perfiles, si lo hay. Su estructura està compuesta por pequeños bloques angulares y la textura es entre franca y migajón arcillosa; sin embargo se observa frecuentemente fases líticas y pedregosas a poca profundidad en algunos casos y en otros casos a profundidades de 50 cm en donde se puede encontrar la roca madre. Son ricos en materia orgánica, la cual va disminuyendo con la profundidad.

La segunda división tiene características similares a la anterior pero difiere en el horizonte B, donde se encuentran acumulaciones de arcillas, formando las películas que recubren gravas, terrones y las raíces. (Fitz, 1985)

3.1.2. Andosol

El nombre se origina del japonés An= oscuro y Do= suelo; (Monkhouse, 1978), connotativos de suelos formados de materiales ricos en vidrio volcánico y que por lo común tienen un horizonte superficial oscuro.

Su textura varía entre migajones areno-limonosos, francos y arcillosos. También tienen elevadas cantidades de materia orgánica (entre 5% y 20%) en los primeros 30 cm del suelo, lo que permite que la densidad aparente sea baja. Su salinidad es baja.

En cuanto a la acidez, varían de moderada a fuertemente ácidos, con valores de pH bajos en la superficie (4.5). Incrementándose con la profundidad hasta llegar a un pH de 6.0 o más. Se localizan en pendientes fuertes entre los 11° y 45°.

Las subunidades presentes en la cuenca alta del río Tepeji son: mólico

(Tm), hùmico (Th) y òcrico (To) se ubican en la regiòn montañosa del sur y suroeste (carta no. 5). Algunas características particulares de estos tipos de suelos son los siguientes:

El andosol mòlico (Tm), tiene un horizonte A mòlico de consistencia barrosa y/o textura de migajòn limoso o màs fina. El hùmico es casi igual, su diferencia radica en que en este suelo hay mayor cantidad de materia orgànica.

El andosol òcrico (To), tiene un horizonte A òcrico y un horizonte B càmbrico, de consistencia barrosa y/o textura de migajòn limosa o màs fina.

3.1.3. Luviosol

Estos suelos se forman a partir de depòsitos de tobas, aglomerados y brechas volcànicas de matriz tobacea. (Fitz, 1985). Poseen un horizonte A degradado de color cafè, rojizo oscuro; y un horizonte B argilico de color cafè fuerte a rojo. Tiene mayor arcilla que el A. La textura media en el horizonte A, cambia de media a fina, en el horizonte B, respecto al contenido de materia orgànica este es bajo (0.8% y 4.7%).

Los valores de ph, presentan un patròn interesante, tendiendo a variar de

5.5 a 6.5, en el horizonte superior y disminuyendo de 4.5 a 5.0 en donde la arcilla llega al máximo.

De este suelo se encuentra una subunidad; el luvisol crómico (Lc), el cual tiene un horizonte A muy pálido, bajo en carbono orgánico, que se endurece cuando está seco. Esta formado por la desintegración de todas tepetatosas de color café-claro a rojizo, por lo que tienen este mismo color; su textura es arenolimsa. Se encuentran cubiertos por sedimentos eólicos recientes (holocénicos), que impiden, que el horizonte superior de los suelos se seque y endurezca. Se localizan en pendientes mayores a 6°.

En la cuenca se encuentran en una pequeña porción de la región montañosa del centro-oeste, extendiéndose hacia el piedemonte, también el norte tanto en el sector montañoso como en el talud de transición, y por último al sur-este.

3.1.4. Vertisol

Son suelos de color oscuro, que tienen textura uniforme fina o muy fina y un contenido bajo de materia orgánica; pero tal vez su propiedad más importante es la denominación de la arcilla en la fracción de látice de arcilla expandente, por

lo general montmorillonita, que ocasiona que estos suelos al secarse se encojan y agrieten. Poseen salinidad y su ph se encuentra en el rango de 6.0 a 8.5 y su densidad es de 1.8 a 2.0 en el horizonte medio, considerándolo como el más denso. Su contenido de materia orgánica puede ser hasta del 5% en la superficie.

Las subunidades presentes en la región son los vertisoles pélicos (Vp) y los vertisoles crómicos (Vc). Se ubican al sur y norte de la presa Taxhimay respectivamente.

Los vertisoles pélicos (Vp). Son de textura arcillosa y pesada, presentan un color negro o gris oscuro, no se reconocen capas y horizontes en el perfil, por lo que comúnmente se dice que tienen un horizonte Ac; es decir que desde la superficie hasta el contacto con el lecho rocoso, se distinguen las mismas características de color y textura, su profundidad varia de 60 cm hasta 2 m; se encuentran en pendientes menores al 8%.

Los vertisoles crómicos son de características similares a los anteriores, su diferencia estriba en que son de color rojo y poseen mayor profundidad.

3.1.5. Litosol

Son suelos que se encuentran limitados en profundidad por un estrato duro, que es continuo y coherente dentro de los 10 primeros cm superficiales. No presentan horizontes ni estructuras, en cambio dan un aspecto parecido a la roca con fracciones minerales pequeñas (limos) que lo acercan más al suelo que a la roca. (Leet. 1986). Se presentan al oeste y noroeste de la presa Taxhimay.

3.2. La cobertura de las asociaciones de suelos y su localización

Las áreas edáficas se distribuyen en la cuenca, formando las siguientes asociaciones:

3.2.1. Feozem + feozem háplico + vertisol pèlico + litosol cròmico.

(H+Hh+Vp+Lc).

Esta subunidad es la más extensa con 154.62 km² es decir, el 41.90% del área total, se encuentra cubriendo casi toda la cuenca extendiéndose de norte a centro y de norte a noroeste.

También se encuentra una pequeña porción en el centro oeste haciendo contacto con las unidades de andosol y luviosol, concretamente en las

estribaciones del cerro Piedras Coloradas y el sur de las estribaciones del Puerto La Cumbre.

Los suelos de estas subunidades cubren las cotas de los 2200 m.s.n.m. a los 3100 m.s.n.m., pero la mayor extensión se encuentra entre las cotas de los 2200 m.s.n.m. a los 2500 m.s.n.m., con pendientes de 1.5° a 45°, pero predominan los declives entre los 1.5° y los 6° al oeste y sur de la presa Taxhimay y el curso medio de los valles fluviales.

3.2.2. Andosol + andosol mólico + feozem + litosol + feozem háplico

litosol crómico + andosol ócrico + luviosol (T+Tm+ H+I+Hh+Ic+To+L)

Ocupan la porción sur oeste abarcando las cotas de los 2.700 m.s.n.m. a los 3.500 m.s.n.m. con pendientes que van de 1.5° en los valles fluviales, hasta alcanzar inclusive los 45° en las laderas más escarpadas, como en el cerro de La Bufo al suroeste y los Potrerillos al sur. Cubren una área de 134.62 Km², equivalentes al 36.48% de la superficie total.

3.2.3. Luviosol crómico + feozem háplico + feozem+ vertisol + andosol

òcrico + andosol hùmico (Lc +Hh+H+ V + To + Th).

Se extienden por toda la cuenca del norte a sur. En el norte se localizan las asociaciones de menor extensión: el luviosol crómico + feozem + vertisol y andosol ócrico, sobre la cota que va de los 2.400 m.s.n.m. hasta los 2600 m.s.n.m. y una pendiente que oscila entre los 6° y los 24°. En dirección suroeste, aparecen las asociaciones de mayor extensión, el luviosol crómico + el feozem háplico; los cuales abarcan la superficie al norte del cerro de las Animas y el noreste del cerro de la Iglesia Vieja, comprendiendo las curvas de nivel entre los 2 300 m.s.n.m. y los 2 700 m.s.n.m. y pendientes que fluctúan entre los 3° y 24°. Pero la asociación más extensa es la del sureste y centro de la región, la cual sigue la dirección de los valles fluviales entre las cotas de los 2400 m.s.n.m. a los 2800 m.s.n.m. y pendientes de 6° a 24 °. Dentro de esta extensa asociación, se observa la presencia de la subunidad de andosol ócrico, al oeste del río San Jerónimo y más al este en la misma dirección, la subunidad formada por el luviosol húmico al oeste del río el Chorro. La extensión total de esta compleja asociación de suelos es de 73.75 Km² y un porcentaje del 19.98% respecto al área total de la cuenca.

3.2.4. Feozem Háplico + Litosoles (Hh + I)

Esta asociación ocupa una extensión de 1.5 Km², es decir el 0.40% de la superficie total de la cuenca, se localiza sobre las planicies más bajas de la

cuenca, al oeste de la presa Taxhimay, sobre la curva de los 2300 m.s.n.m. y una pendiente de 3° (carta no. 9). Al igual que al sur de la pequeña elevación secundaria conocida como cerro El Pañete (2400 m.s.n.m.), a un kilómetro del punto antes mencionado, en dirección noroeste.

3.2.5. Vertisol crómico + vertisol pélico + feozem háplico

(Vc+Vp+Hh)

El vertisol crómico y el feozem háplico ocupa sólo una superficie de 0.5 Km², equivalentes al 0.13% del área de la cuenca. Se localiza al sureste de la localidad de Villa del Carbón, aproximadamente a medio kilómetro sobre la cota de los 2 700 m.s.n.m. y una pendiente de 6°. El segundo grupo integrado por el vertisol pélico y el feozem háplico, ocupa 4 Km² de superficie y un porcentaje de 1.1% del total superficial.

En la cuenca se distribuyen en tres lugares: La primera asociación de vertisol pélico y feozem háplico (VpHh), sobre la cota de los 2500 m.s.n.m. y una pendiente de 6°. La segunda al sureste de la presa Taxhimay y la tercera asociación de VpHh al norte de San Luis Taxhimay. Estas dos últimas asociaciones ubicadas sobre la cota de los 2300 m.s.n.m. y una pendiente de 1.5° a 3°.

3.3. Características edafológicas de muestras de algunos puntos de verificación.

El punto 39 (Hhpv/2), es la asociación formada por las subunidades de feozem háplico y vertisol pélico. Se localizan al norte de la cuenca, sobre la cota de los 2500 m.s.n.m. y una pendiente entre los 12° y 6°. Estas subunidades, se caracterizan por ser suelos intermedios con una gran proporción de arcilla, propio de los vertisoles, pero enriquecida con materia orgánica de los feozem háplicos, incluyendo la profundidad de estos.

El punto verificación 62 (Lc.Hh)-(luvisol crómico + feozem háplico). Se ubica al suroeste de la presa Taxhimay, a 2 Km del poblado de Ventey, sobre la curva del nivel a 2400 m.s.n.m. y una pendiente de 6° debido a las cualidades fisicoquímicas de cada integrante de la asociación de estos suelos, el nivel de arena y limo aumenta considerablemente, en cambio pierde profundidad por la presencia de litosoles.

El punto de verificación 17 (Th.Lc) andosol húmico y luvisol crómico. Se distribuye geográficamente al suroeste de la cuenca, cerca al poblado de el Quelite a 2 850 m.s.n.m. y una pendiente de 12°. Es posible que la unión de estas dos subunidades establezca el ph en la superficie y en el horizonte medio, puesto que uno aporta ceniza volcánica y el otro arcilla, pero tal vez podría

presentarse una posible segmentación si el suelo no está protegido con una cubierta vegetal perdiendo por lo tanto permeabilidad. Otro aporte producto de esta asociación de suelos, es la riqueza de materia orgánica en el horizonte superior.

3.4. Características del comportamiento y propiedad de los suelos con respecto a la infiltración y al escurrimiento.

Los suelos de la cuenca en general, están formando asociaciones entre subunidades, por lo tanto, las características del material parental de cada una de las subunidades determinará la capacidad de infiltración, escurrimiento, de erosión y uso de suelo. Algunas de esas características individuales son: las siguientes: los suelos que fácilmente pueden ser removidos por las aguas fluviales son los litosoles, estos propician grandes afloramientos en la cuenca; debido a este aspecto negativo su presencia en varias asociaciones de la región, resta sensiblemente la capacidad de permeabilidad y, uso agrícola, contribuyendo al aumento del escurrimiento y finalmente a la erosión, sobre todo de los suelos descubiertos.

El elevado contenido de arcilla de los vertisoles puede imponer fuertes limitaciones en su utilización debido a que el rango de humedad para su cultivo

es estrecho. (Fitz, 1985). Si se intenta el cultivo cuando no está en su nivel de humedad óptima, bien se encharcan, si están muy mojados o resultan muy difíciles de manejar si están muy secos.

Los vertisoles, son muy susceptibles a todas las formas de erosión, aún en pendientes de 3° o menos; pueden desarrollarse zanjas profundas en un período muy corto.

Una forma característica de erosión que sufren estos suelos es el deslizamiento. A pesar de estas dificultades, son buenos para cualquier cultivo de temporal y excelentes para pastos y frutales. En la cuenca forman asociaciones con los feozem háplicos, quienes mejoran las condiciones de esta subunidad ya que facilitan una mayor infiltración.

Los suelos que presentan mayor grado de infiltración son los andosoles húmicos, estos tienen dos características importantes en todos sus horizontes; la esponjosidad y alta porosidad que pueden pasar del 70% tanto en el horizonte superior como el medio. Éstas dos propiedades son atribuidas a la presencia de alófono, que es el producto principal de la hidrólisis.

Los andosoles son de fácil manejo en cualquier condición de humedad requiriendo buenas técnicas de utilización, pues son muy susceptibles a la

erosión superficial y torrencial. En la zona de estudio, estos suelos tienen un uso forestal, agrícola y ganadero.

Los feozem, cuya estructura granular del horizonte superior y de bloques subangulares del horizonte medio, imparte a esos suelos una gran porosidad, permitiendo con ello la penetración de las raíces, del agua de infiltración al mismo tiempo que los peds tienen una elevada capacidad para retener el agua (Millar, 1975).

En consecuencia en estos suelos existen excelentes relaciones de humedad, permitiendo que la humedad excesiva se infiltre libremente al mismo tiempo que retienen gran cantidad de la misma en los mismos peds porosos.

Los suelos feozem por ser blandos, cuando están en pendientes pronunciadas pueden ser afectados por el proceso de soliflucción, si se abusa de la deforestación, conocimiento que debe considerarse de suma importancia ya que en algunos lugares de la cuenca hay pendientes notables.

3.5 La cobertura arbórea y la explotación forestal

La cubierta vegetal de la superficie terrestre varía enormemente en densidad tanto vertical como horizontalmente de un sitio a otro. Como

consecuencia de esto cuanto se pasa de un medio geográfico a otro, las especies vegetales cambian y de esta manera sirven como indicadores de las características del medio en que se desarrollan. (Ramos, 1984).

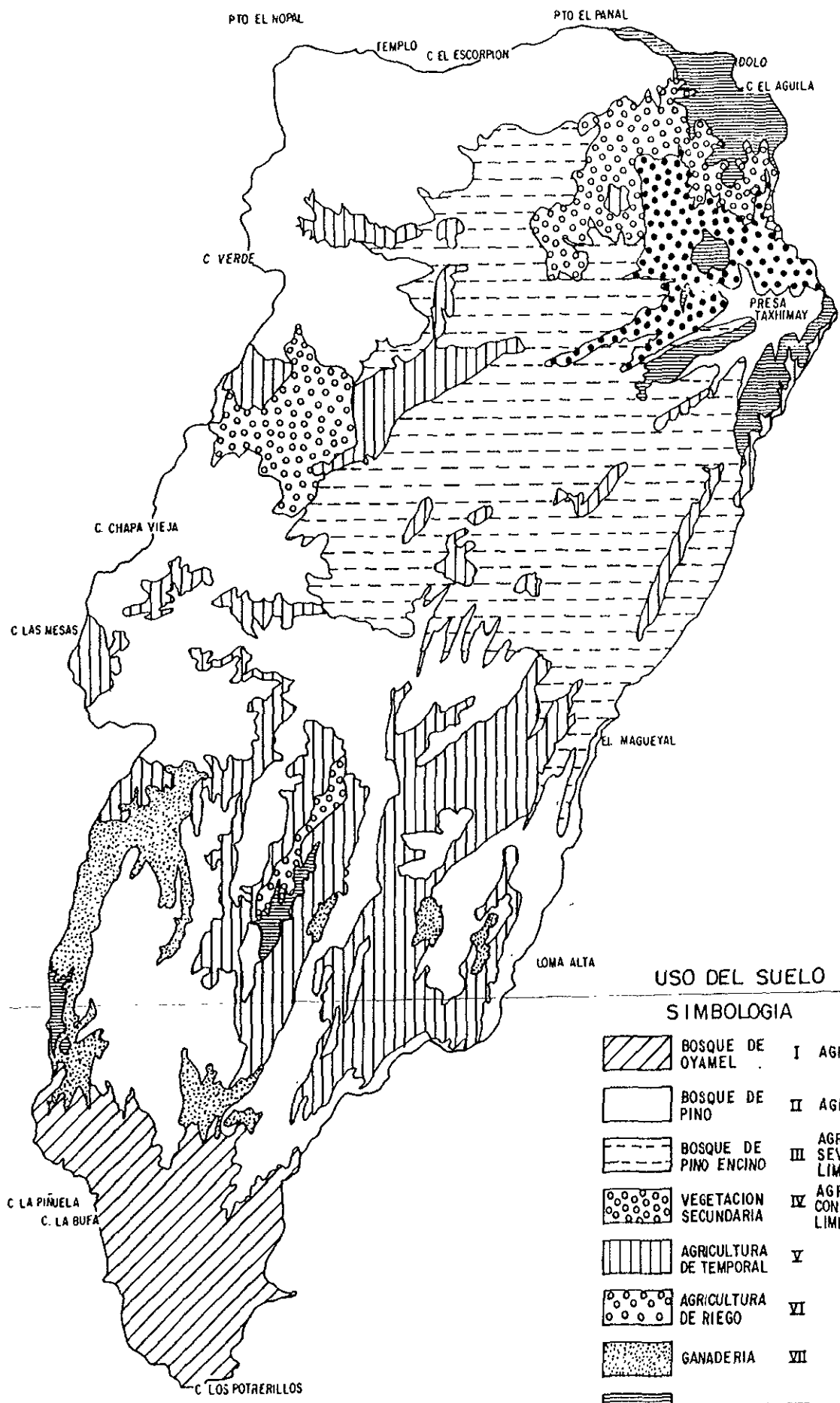
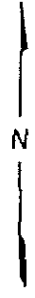
La vegetación tiene un papel muy importante como reguladora meso y microclimática, por ello cuando se perturba, se originan cambios en la cantidad de humedad e insolación, lo que a su vez provoca un cambio en la vegetación; repercutiendo directamente en el mantillo forestal, el cual es muy importante para el control y la regulación de los escurrimientos.

Con base en la información de las cartas de uso de suelo del I.NE.G.I. Villa del Carbón y Tepeji del río, escala 1:50 000 se puede decir que los principales tipo de bosques se encuentran en la cuenca (carta no. 10) son: bosque de oyamel, pinos y encinos.

3.5.1. Bosque de oyamel.

El *Abies religiosa*; se distribuye al sur sobre la cuenca alta y el parteaguas occidental. Este tipo de bosque se desarrolla desde los 2300 m.s.n.m. en adelante, aunque en la región se encuentra sobre los 3050 m.s.n.m. y una pendiente mayor a 24° en donde la precipitación varía de 1000 mm a 1200 mm.

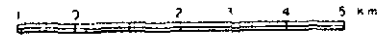
CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI



USO DEL SUELO SIMBOLOGIA

	BOSQUE DE OYAMEL	I	AGRICOLA
	BOSQUE DE PINO	II	AGRICOLA
	BOSQUE DE PINO ENCINO	III	AGRICOLA CON SEVERAS LIMITACIONES
	VEGETACION SECUNDARIA	IV	AGRICOLA CON SEVERAS LIMITACIONES
	AGRICULTURA DE TEMPORAL	V	F
	AGRICULTURA DE RIEGO	VI	O
	GANADERIA	VII	R
	DEFORESTACION	VIII	E
			S
			T
			A
			L

ESCALA GRAFICA



CARTA 10

anuales.

El estrato arbóreo del oyamel, también conocido como abeto, romerillo y pinabete, posee ejemplares altos entre 35 m. y 40 m. de altura media, en la cuenca se desarrolla sobre andosoles; cuya permeabilidad es alta (70%), además son suelos con un ph entre 5.5 a 6. La capacidad de permeabilidad de estos bosques es del 85% (Wagner, 1987), suelen formar núcleos densos, pero también forman ecotono con pinos y en algunos lugares con encinos.

3.5.2 Bosques de pinos

El estrato arbóreo de los pinos se localiza en menor extensión al sur de la presa Taxhimay y una altitud de 2500 m.s.n.m. con pendientes que oscilan entre los 12° y 6°. Forman bosques de galería a lo largo de las corrientes, sobre todo en la cuenca media. La mayor extensión de este bosque, se observa al noroeste y oeste; sobre las faldas y el piedemonte de los cerros Iglesia Vieja, Puerto Barajas, Cerro Verde, Las Animas, Puerto la Cumbre, Los Ídolos, con un promedio de altitud de 2 900 m.s.n.m. y una pendiente de más de 24° sobre suelos de tipo feozem, en estos lugares la precipitación fluctúa entre los 800 mm y los 1000 mm anuales. Su capacidad de permeabilidad es del 50% es decir el otro 50% de agua se escurre. La altura promedio de los bosques es de 30 m a 40 m,

estos tienen gran capacidad para adaptarse a cualquier tipo de suelo.

3.5.3. Bosque de encinos.

El *Quercus* sp, es una comunidad dominante en esta región a causa del uso inmoderado que se hace de las coníferas, ocasionando un mayor uso del encino.

Dentro del estrato arbóreo que forma el soto bosque de esta especie, se distinguen el *Crataegus mexicana* (tejocote) y el *Pinus capullii* (Capulín), árboles caducifolios cuya importancia radica en que ayudan al control de la erosión de suelo, gracias a su cobertura foliar y su sistema radical. El estrato herbáceo y restante es casi similar al de las especies de oyamel, alcanzan alturas entre los 2m. y los 6m; necesitan una precipitación que varía entre los 600 mm y 800 mm.

La vegetación nativa ha ido desapareciendo, al ser desplazada por plantas inducidas o introducidas; las cuales van ocupando el espacio dejado por aquella. Por ejemplo los encinos, por ser un género más resistente a las condiciones alteradas del medio, tienden a ocupar las áreas afectadas por el hombre; por tanto en poco tiempo va a existir mayor abundancia de encino, a altitudes mayores a 2600 m.s.n.m. a lo que se encuentra actualmente.

Así mismo, los encinos están asociados, a matorrales subinermes subcaducifolios, los cuales predominan cerca de la presa, en el noreste, los géneros que sobresalen son: *Prosopis* SP, (mezquites) y *Opuntia* sp (nopales y cácteos); estos matorrales se asocian a su vez a las gramíneas, tales como *Bouteloua* SP, *Aegopogon* SP y *Panicum* SP, y también plantas ruderales y arvenses (Meza, 1976).

El grado de perturbación, que se manifiesta en este tipo de vegetación, es notable en cuanto a su relación con el medio físico: los encinos y madroños se encuentran dispersos, pueden verse muy separados o con manchones agrupados en algunas áreas lo que hace que la cubierta foliar no sea muy buena, hecho que afecta las condiciones del suelo, ya que permite el incremento del escurrimiento superficial. Este problema se presenta en el talud de transición en el noroeste de la cuenca, a una altura de 2500 m.s.n.m. y una pendiente de 6°.

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

La asociación más extensa de bosques esta formada por pinos y encinos, ubicada alrededor de la zona de pinares, al sur oeste, noreste y centro este de la cuenca, tanto en las laderas altas como en el talud de transición (carta no 10). Los pinos y los encinos constituyen la vegetación característica de las montañas

en todo México ocupando un lugar preponderante en la caracterización del paisaje. Este tipo de bosque se desarrolla en la cuenca sobre altitudes entre los 2300 m.s.n.m. y 2800 m.s.n.m. con una pendiente que fluctúa entre los 12° y 14°, y una precipitación media de 900 mm anuales. En la parte alta los encinos se encuentran asociados con los pinos, con los que forman un ecotono difuso, en este lugar, la permeabilidad es del 67.5%.

En tanto que en la parte baja se asocian con madroños. La superficie total de bosque es de 205.6 Km², equivalente al 55.7%.

3.6 El uso de suelo e identificación de las áreas agrícolas y de vegetación inducida.

Las áreas agrícolas constituyen la vegetación introducida por el hombre, se localizan tanto en terrenos grandes como pequeños, distribuidos en toda la cuenca, con pendientes suaves moderadamente ligeras (3° a 6°).

La mayor concentración agrícola se ubica en los alrededores de la presa Taxhimay, en los poblados de San Luis Taxhimay, Loma Alta, San Salvador de la Laguna, este de la Escalera, en estos terrenos se practica agricultura de riego y permanente. También se practica en pequeñas porciones de los valles

intermontanos, ubicados entre los lomeríos. En la cuenca están localizados en las partes centro y este y desplazándose en forma alargada de sur a norte. Entre las poblaciones de estas zonas están Villa del Carbón, San Joaquín, La Esperanza, Llano Grande, El Quelite, Monte de Peña, Llano de Zacapexco. En toda la cuenca se alterna la agricultura de temporal con la permanente; la superficie de uso agrícola es de 90 Km² en total, es decir, el 24.39% de los cuales, 20.3 Km² están ocupados por agricultura de riego, correspondientes al 22.55% de las áreas agrícolas. Los principales cultivos de la región son: maíz, papa, cebada, haba, trigo, frijol, alfalfa, chícharo, variedades de chile, árboles frutales: (durazno, manzano, peral) y nogal de castilla. El maíz equivale al 90% de la producción, los cultivos restantes sólo equivalente al 10%

La vegetación inducida está representada por gramíneas y leguminosas; anteriormente se localizaban en áreas pequeñas, pero por la deforestación y el uso exhaustivo que el hombre ha hecho de los bosques, ha dado lugar a que este tipo de vegetación ocupe áreas mayores, encontrándose también en lomas, valles y terrenos de pendientes suaves; desde la parte sur, centro hasta el norte de la misma.

Otro tipo de vegetación producto de las perturbaciones del hombre al bosque nativo, es el pastizal, el cual se localiza en toda la región. En las partes elevadas, a una altura promedio de 2800 m.s.n.m. se desarrollan pastizales de la

especie *Hilaria Centroides*, cuya principal característica es la resistencia a las bajas temperaturas.

En las regiones cercanas a los ríos y corrientes superficiales, debido a la presencia de agua, se encuentran los pastizales *Buchloe Dactyloides*. El pastizal zacatonal alpino y subalpino, crece entre los claros que existen dentro del bosque de pinos, se caracteriza por construir gramíneas amacolladas, se les encuentran en las laderas de las montañas más altas a una pendiente de más de 24° (Ramos, 1984).

3.7 Las áreas agrícolas como zonas de recarga acuífera de evaporación y de transpiración.

El hombre puede influir en el ciclo hidrológico y alterar su curso para su propio beneficio, o como sucede con bastante frecuencia, para su desventaja en último término, cuando no hace buen uso de los recursos naturales, al querer aprovechar para fines agrícolas la mayor superficie posible degradando para ello la vegetación original, y contribuyendo a acelerar el proceso de erosión; debido a que los cultivos poseen generalmente menos capacidad de recubrimiento, dejando sin protección el suelo, ayudando a aumentar la evaporación, sobre todo cuando predomina el cultivo de temporal; como es el caso del maíz (junio-julio),

permaneciendo el suelo desnudo la mayor parte del año.

El maíz puede producir una erosión mayor que la esperada, porque la altura desde la cual caen las gotas de la lluvia interceptada por las plantas, es suficiente para que se alcancen grandes velocidades terminales, por lo que llega a producirse la erosión laminar y por salpicadura (López, 1992). El problema se agrava si se tiene en cuenta que en la región este tipo de cultivo se siembra tanto en terrenos con pendiente moderada, (3°) en los alrededores de la presa Taxhimay; como en las laderas con fuertes pendientes (mayores de 24°) al oeste y sur de la cuenca. Se debe considerar también la irrigación de terrenos agrícolas, como un intento para corregir las deficiencias de la precipitación natural. Esta práctica agrícola se efectúa en varias partes de la cuenca especialmente en las inmediaciones de la presa Taxhimay. Un resultado directo de este técnica es un aumento de la transpiración adicional, la cual no tiene efecto negativo, siempre y cuando se suministre la cantidad adecuada de agua. No obstante en la práctica es difícil determinar las necesidades exactas de agua que requiere un cultivo. Por lo general se suministra mucho más agua de la cantidad que se necesita. Lo precedente tiene como efecto que el agua no necesaria para la transpiración o para el mantenimiento de la capacidad de los cultivos se percolará hacia abajo, aportando así una recarga al agua freática. El aumento en el nivel freático dará paso al encharcamiento de las plantas o la formación de un suelo salino, excepto donde existan canales de avenamiento:

En consecuencia, debido a la irrigación, la elevación de los niveles de agua freática, es en realidad una forma de recarga no intencional de agua freática. Como ya se indicó pueden producirse efectos perjudiciales cuando el nivel de agua sube hasta la superficie; en cambio si el agua freática permanece a suficiente profundidad para no limitar el crecimiento vegetal y si la calidad se mantiene dentro de límites aceptables, entonces la adición al agua freática de percolación profunda por riego constituye un beneficio neto para el depósito de agua subterránea. (UNESCO-FAO, 1975)

CAPITULO 4

4.0. LA RED HIDROGRAFICA

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar la distribución y características de la red hidrográfica de la cuenca alta del río Tepeji, así como las correlaciones detectadas de los parámetros (cuadro No. 3), con algunas características geográficas de la superficie de la región (cuadro No 2). Para ello se clasificaron los cauces por número de orden, se midió la longitud por número de orden, se calculó la relación de bifurcación, la densidad de drenaje; y empleando la cuadrícula del sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (U.T.M.)se determinó la distribución espacial de la frecuencia de cauces y la densidad de drenaje.

4.1. Definición

La red hidrográfica de una cuenca puede definirse, como el sistema de

CUADRO No 2

PARAMETROS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI

PARAMETROS	MONTAÑASY PLANICIES ALTAS	TALUD DE TRANSICIÓN O PIEDEMONTE	TALUD DE TRANSICION Y PLANICIES	PLANICIES Y LOMERIOS
Localización	S, NW	NC, C, S, SW	NC, C	C, CE
Altitud	3500-2900	2900-2600	2600-2400	2400-2300
Pendiente	6°-45°	1.5°-24°	6°-12°	1.5°-6°
Litología	Andesita y brecha volcánica	Andesitas, areniscas,tobas,brecha volcánica y conglomerado	Conglomerado, areniscas y tobas	Areniscas y tobas
Edafología	Andosol, feozem háplico,luviosol crómico	Andosol, luviosol y feozem háplico	Luviosol y feozem háplico	Luviosol, feozem háplico, litosol y vertisol
Clima	C (E) (w ₂) w	C (w ₂) (w)	C (w ₁) (w) b (i) g	C (w ₁) (w) bg
Vegetación	Bosque de oyamel, pastizal	Pino,encino, vegetación secundaria,pastos naturales	Pino, encino,vegetación secundaria, pastos naturales e inducidos	Encinos, vegetación secundaria
Sistema de cauces	Escaso-intermedio	Intermedio	Altos	intermedio
Frecuencia de cauces	10 y 12 segmentos de cauce	10-12 y 7-9 segmentos de cauce	4-6 , 7-9 y 10-12 segmentos de cauce	7-9 y 9-12 segmentos de cauce
Densidad de drenaje	0.1-1.0-1.1 y 2.1-3.0 rangos	3.1-4.1 y 5.0 y 0.1-1.0-1.1 rangos	2.1 - 3.0 y 3.1-4.1 y 5.0 rangos	3.1-4.1 y 5.0 rangos

CUDRO No. 3**DATOS DE LOS PARAMETROS LINEALES DE LOS CAUCES DEL SISTEMA FLUVIOGRAFICO
DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI**

U	NU	LOG. NU	RB	L (Km)	L.A (Km)	L.M (Km)	FcA
1°	790	2.898	---	395	395	0.5	2.14
2°	141	2.149	5.5	180	575	1.27	0.38
3°	39	1.591	3.6	55	630	1.41	0.1
4°	19	1.279	2.1	50	680	2.63	0.05
5°	1	0	19.0	15	695	15	0.03
	990			695			

U = Número de orden

NU = Número de cauces

Log NU = Logaritmo de número de cauces

Rb = Relación de bifurcación

L (Km) = Longitud de los cauces en km.

L.A (Km) = Longitud acumulativa de los cauces en km

L.M (Km) = longitud media de los cauces en km

FcA = Frecuencia absoluta de los cauces, NU/km²

FcA = 2.68 cauces / km²

Densidad de drenaje absoluta = 1.88 km²

Area de la cuenca = 369

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

4.2. Descripción general del tipo de red

Para describir el tipo de red es necesario tener en cuenta sus características como son: tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de corrientes, relación de bifurcación, densidad de drenaje y de frecuencia de corrientes.

4.2.1. Clases de corrientes

Las corrientes comúnmente se clasifican en tres tipos: perennes, intermitentes y efímeras, con base en la constancia de su escurrimiento o flujo, determinado por las características físicas y climáticas de la cuenca.

Las corrientes perennes conducen agua todo el tiempo, excepto durante

las sequías extremas. Una corriente intermitente lleva agua especialmente en épocas de lluvia. Y la efímera sólo conduce agua durante las lluvias o inmediatamente después de éstas.

En la cuenca en estudio se clasifican como permanentes el río San Jerónimo, río de las Peras, de quinto orden y el río el Chorro de cuarto orden, entre las corrientes intermitentes se encuentran los arroyos localizados en la parte montañosa del norte y el oeste de la cuenca. Las efímeras se localizan sobre el talud de transición y la zona baja de la cuenca, (cerca a la desembocadura).

4.2.2. Modelos de drenaje

La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca topográfica originan un modelo erosional el cual es caracterizado por la red de cauces (Campos, 1987). El patrón o modelo que forman los cauces es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en la resistencia de las rocas.

Las corrientes que semejan las ramificaciones de un árbol se llaman dentrítica; las corrientes que radian hacia afuera en todas las direcciones desde

una zona central elevada, son del tipo radial, y las corrientes que siguen cursos caracterizados por curvas casi en ángulo recto son el tipo de drenaje rectangular, por último el patrón en enrejado lo forman corrientes que se unen casi en forma de ángulos rectos a la corriente principal, produciendo una especie de enrejado.

En una primera observación, el modelo general de la cuenca se expresa como un patrón dentrítico localizado al sur, suroeste y noroeste de la región, asociado por lo general a lugares donde existe poca variación litológica ya sean rocas sedimentarias prácticamente horizontales, metamórficas macizas o de rocas ígneas, siendo estas últimas representadas por las andesitas las que cubren la zona montañosa sur y noroeste (carta No. 8).

La forma o configuración de la red fluvial sigue una tendencia uniforme, con orientación noreste formando ángulos agudos entre los tributarios y las corrientes troncales. Sin embargo cuando la red está por alcanzar la parte baja de la cuenca particularmente en el centro de la misma, la agudeza de los ángulos de confluencia son reemplazados por ángulos rectos o de confluencia perpendicular, incluso los cursos presentan cambios de rumbo. La explicación de este fenómeno puede deberse a la alternancia de rocas duras y débiles manifestándose un patrón de enrejado o espaldera, o también es el resultado del proceso de piratería fluvial, puesto que las corrientes que han sido capturadas, forman ángulos rectos de confluencia en relación a la corriente captora, o bien sigue una aparente

dirección de ladera arriba en vez de hacerlo cuesta abajo (Ortiz, 1985).

Otro tipo de patrón de drenaje que se presenta es el radial, desarrollado en los flancos de los conos volcánicos y algunos cerros, entre ellos se tienen al noroeste al volcán Las Animas, cerro los Baños y cerro El Pañete este último localizado al norte de la presa Taxhimay.

4.2.3. Orden de corrientes y colector principal

El orden de corrientes permite conocer el grado de bifurcación dentro de la cuenca. El primer orden corresponde al cauce extremo; el segundo orden lo forman la conjunción de dos cauces de primer orden y los de tercer orden dos de segundo y así sucesivamente hasta completar la jerarquía total de la cuenca (Strahler, 1974). El orden de la corriente principal es un indicador que mide la magnitud de la ramificación y la extensión de la red de drenaje de la cuenca. Para nuestro caso, la cuenca en estudio se cataloga como de quinto orden; siendo su colector principal el río San Jerónimo, el cual mantiene su nombre original hasta el sur de la población de Santa Ana Macayuca en donde adopta el nombre del río de La Buña el cual desemboca unos kilómetros adelante en la presa Taxhimay (Ramos, 1984).

Los principales afluentes de río San Jerónimo son: por su margen izquierdo La Grandeza que pasa por la población de Aranda, arroyo El Aserradero, arroyo el Salto, río Las Animas que atraviesa el poblado del mismo nombre, arroyo los Corrales, arroyo la Mina, los cuales al unirse forman el río Piedra Azul y a su vez pasa por el poblado de San Francisco de las Tablas. Por el margen derecho los más importantes son los arroyos las Moras y las Palomas.

4.3. Descripción de la red de acuerdo con las jerarquías de las subcuencas internas.

Al analizar la distribución de las subcuencas de primer orden, se puede observar que no hay gran continuidad de las subcuencas en el parteaguas suroeste y sureste, al igual que en la cabecera de la cuenca, esto se debe posiblemente a que en las zonas próximas o las divisorias de aguas se forman espacios intercuenas en donde el agua de la escorrentía superficial o difusa se infiltra totalmente sin llegar a constituir cauces superficiales definidos por el escurrimiento, estas corrientes se desarrollan sobre rocas ígneas que forman relieves abruptos. Aunque se vuelven más continuas en la divisoria noroeste y septentrional, también sobre material ígneo y algunos conglomerados.

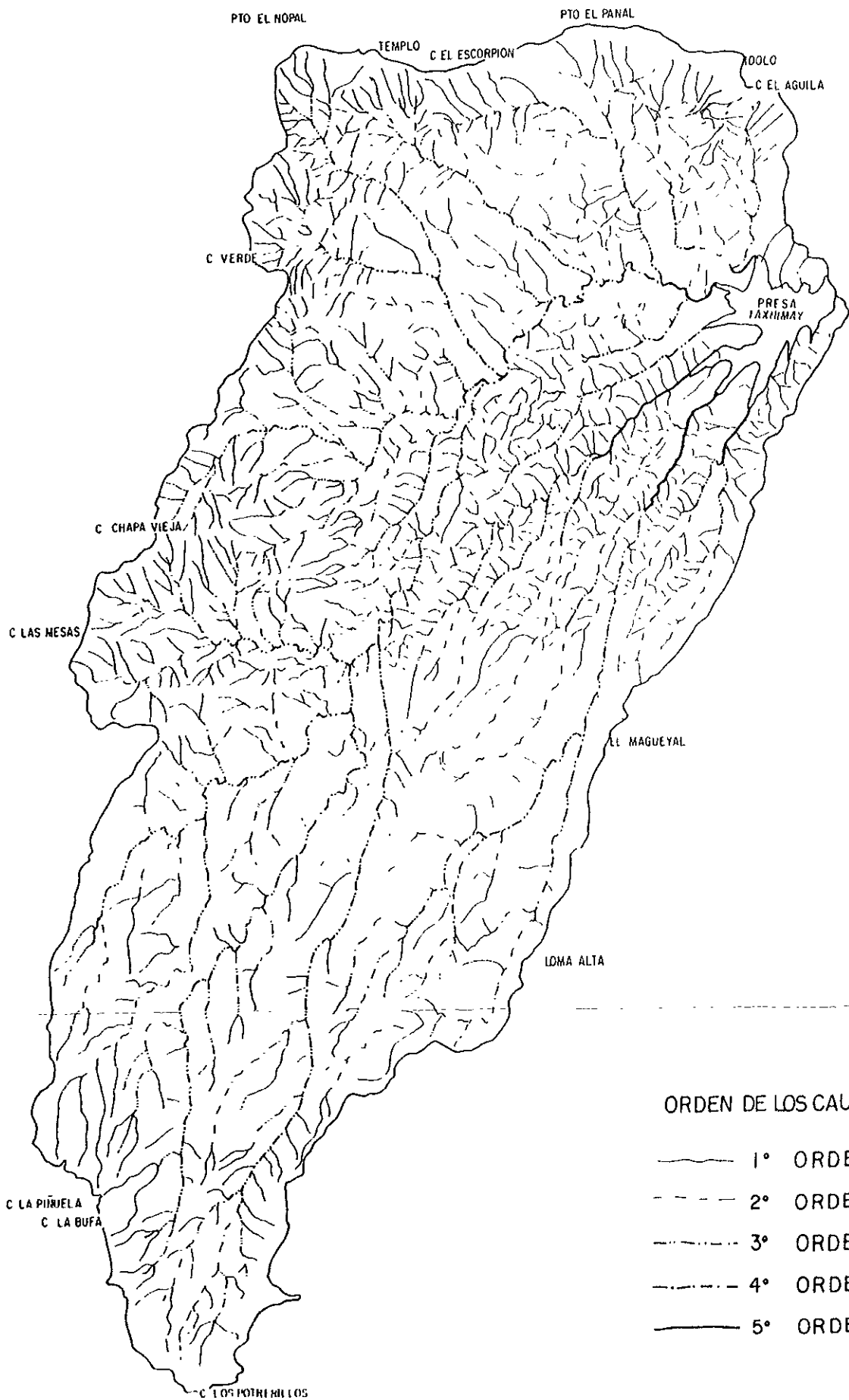
La mayor homogeneidad de las subcuencas de primer orden se presenta

en la parte central y centroeste, siguiendo la dirección de los cursos principales. En esta porción es donde existe la mayor densidad de drenaje, desarrollado sobre material medianamente blando constituido por areniscas y tobas (carta No. 8).

En cuanto a la dimensión, las cuencas con mayores áreas se localizan en la parte meridional, con un promedio de 0.25 km^2 mientras que en la porción oeste y septentrional se encuentran las subcuencas de primer orden, con una dimensión media de 0.18 km^2 . Las subcuencas con dimensiones más pequeñas se ubican en la porción central, muy cerca a la presa Taxhimay, con áreas similares a ésta última, es decir de 0.12 km^2 . Se localizan otras subcuencas de primer orden al noroeste y al este, asociadas las primeras a rocas conglomeradas y las segundas a areniscas y tobas (carta No. 11).

Al integrarse los cauces y las subcuencas de primer orden surgen las de segundo orden. De las cuales, las que poseen mayores áreas se ubican en el centro-este, con un promedio de 2.25 km^2 sobre el material de menor resistencia de la cuenca, es decir las areniscas de áreas intermedias con un promedio de 1.76 km^2 y también se hallan en una pequeña porción en el centro oeste, sobre conglomerados aislados, en tercera instancia, las subcuencas de segundo orden con superficies menores se ubican al norte y al noroeste con un promedio de 1.25 km^2 sobre el material de mayor dureza de la cuenca, las rocas ígneas representadas por las andesitas.

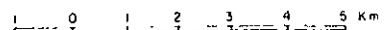
CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI



ORDEN DE LOS CAUCES

- 1° ORDEN
- - - 2° ORDEN
- · - · 3° ORDEN
- · - - 4° ORDEN
- 5° ORDEN

ESCALA GRAFICA



CARTA II

99°35'

99°30'

99°25'

19°55'

19°50'

19°45'

19°40'

19°35'

19°30'

19°25'

Las subcuencas de tercer orden (carta No. 11), presentan mayor definición en sus corrientes, cerca del área de captación y mayor homogeneidad respecto a sus dimensiones, en general el promedio es de 4.25 km² principalmente en el centro este de la cuenca, en tanto que se presenta una ligera diferencia en las dimensiones al oeste y noreste de la región, caracterizada por tener en su origen material andesítico y algunos conglomerados respectivamente.

Finalmente están las subcuencas de cuarto orden que en conjunto con las subcuencas restantes forman el quinto orden, completando así la jerarquía de la cuenca.

En particular puede observarse que tres grandes subcuencas de cuarto orden: arroyos Grande, Peña Prieta y el Panal se focalizan al noroeste muy cerca del parteaguas lo cual permite, que la corriente de quinto orden (río San Jerónimo) al que alimentan, presentan escurrimientos importantes. En cuanto a sus dimensiones areales puede decirse que en general posee menos extensión respecto a la jerarquía anterior.

4.4. Cuantificación y análisis del sistema fluvial

Con la finalidad de tener una visualización general del sistema fluvial de la

cuenca se hizo una abstracción a partir de las cartas topográficas en escala 1: 50 000, dibujando únicamente los cauces impresos, aunque se agregaron algunos cuya existencia se infirió, con base en la observación de la forma de las curvas de nivel.

De acuerdo a la carta fluviográfica se contabilizaron 790 cauces de primer orden, 141 cauces de segundo orden, 39 cauces de tercer orden, 19 cauces de cuarta orden y 1 cauce de quinto orden para un número total de 990 cauces.

4.4.1. Tabla del número de cauces y la descripción de la relación de bifurcación.

Conocido el número de cauces por jerarquía, se puede hallar la relación de bifurcación o confluencia entre el número de corriente de un orden respecto al número de orden inmediato superior cuya expresión numérica es la siguiente:

$$RC = Nu/Nu+1$$

De donde U_n = número de cauces de un orden dado.

$Nu+1$ = número de cauces del orden inmediato superior

Reemplazando la fórmula tenemos.

U	Un	Rc
No. de orden	No. de cauces	Relación de bifurcación
1o.	790	--
2o.	142	5.6
3o.	39	3.6
4o.	19	2.1
5.0	1	19.0
	990	

En general la relación de confluencia de la cuenca alta del río Tepeji significa que existe un promedio de 5.6 cauces de primer orden que confluyen en cada uno de los cauces de segundo orden; 3.6 cauces de segundo orden que confluyen en cada uno de los cauces de tercer orden; 2.0 cauces de tercer orden que confluyen en cada uno de los cauces de cuarto orden; y por último 19 cauces de cuarto orden que confluyen en el de quinto orden. En este estudio el valor promedio de bifurcación para toda la cuenca resultó ser de 7.5, lo que significa que, por promedio hay 7.5 veces más corrientes de un orden que en el inmediato superior. Este tipo de bifurcación alta puede presentarse, en regiones en donde la forma de la cuenca es alargada.

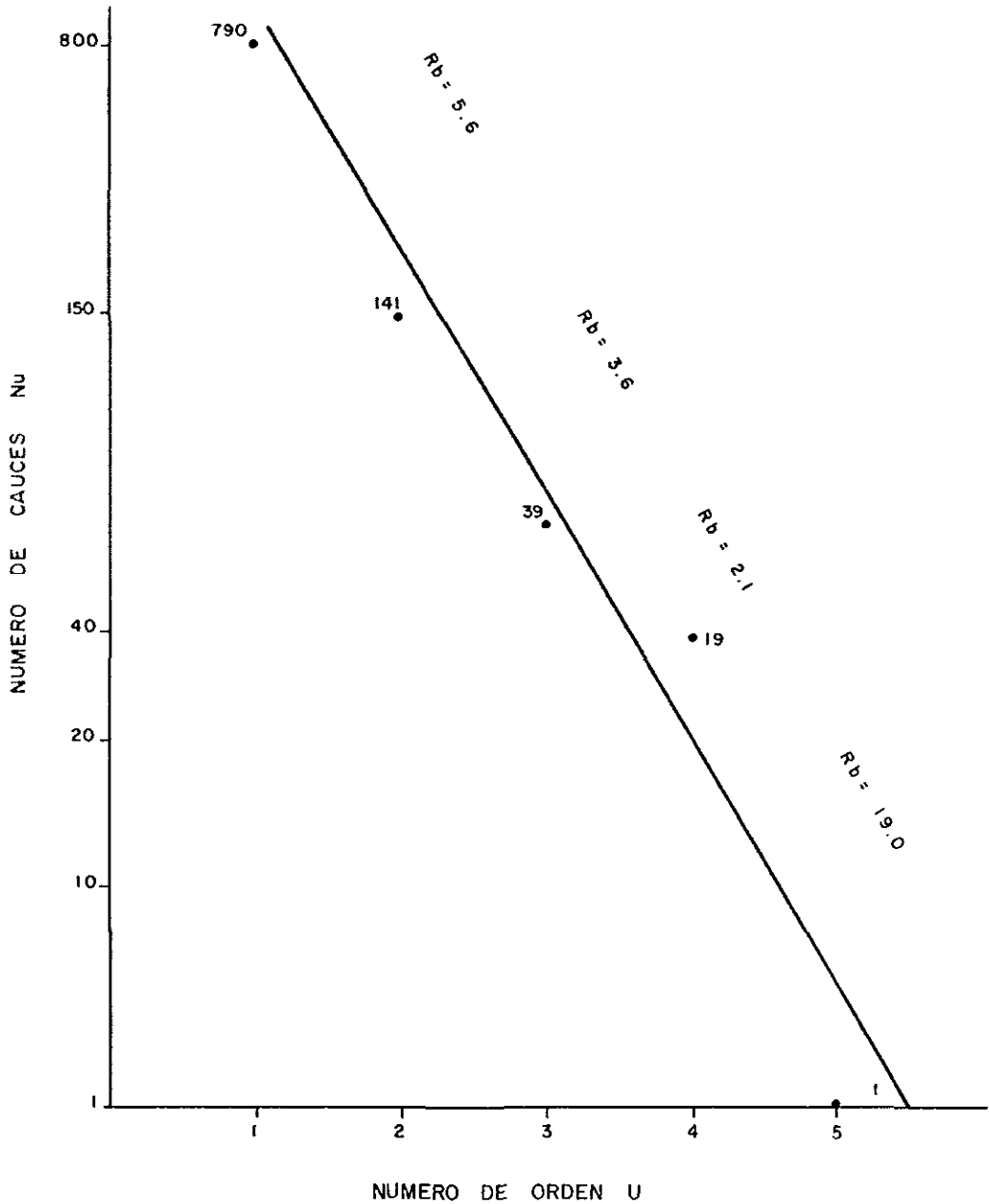
El alto valor de la bifurcación puede reflejarse en la rapidez con que se junte el escurrimiento durante una tormenta y después de ella (Meza, 1976).

4.4.2. Gráfica de la relación de bifurcación y la relación de longitud.

La gráfica de relación de bifurcación (gráfica No. 4) se trazó en un papel semilogaritmico de tres ciclos, con base en el cuadro No. 3. En ésta se puede observar que los puntos correspondientes al número de cauces de los tres primeros ordenes y el único de quinto orden tienden a formar una alineación definida; únicamente el punto del cuarto orden correspondiente a 19 segmentos, tiene un zesgo con valores más altos, lo cual cambia la alineación. Con base en lo anterior puede afirmarse que debido a alguna característica geológica o del relieve de la cuenca hay en algunos lugares un mayor número de segmentos de cauces de cuarto orden. Esto puede apreciarse en el mapa fluvigráfico sobrepuesto con el de declives, geología y el de edafología. Los cuales muestran que los cauces de cuarto orden se presentan en mayor cantidad entre el piedemonte de las laderas altas y el talud de transición; especialmente al oeste sobre andosoles; y al norte sobre feozem; con pendientes mayores a 12° y en los dos casos en rocas de origen ígneo (andesitas).

Así mismo lo anterior indica que el desarrollo del sistema de drenaje de la

GRAFICA No 4 RELACION DE BIFURCACION DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI.



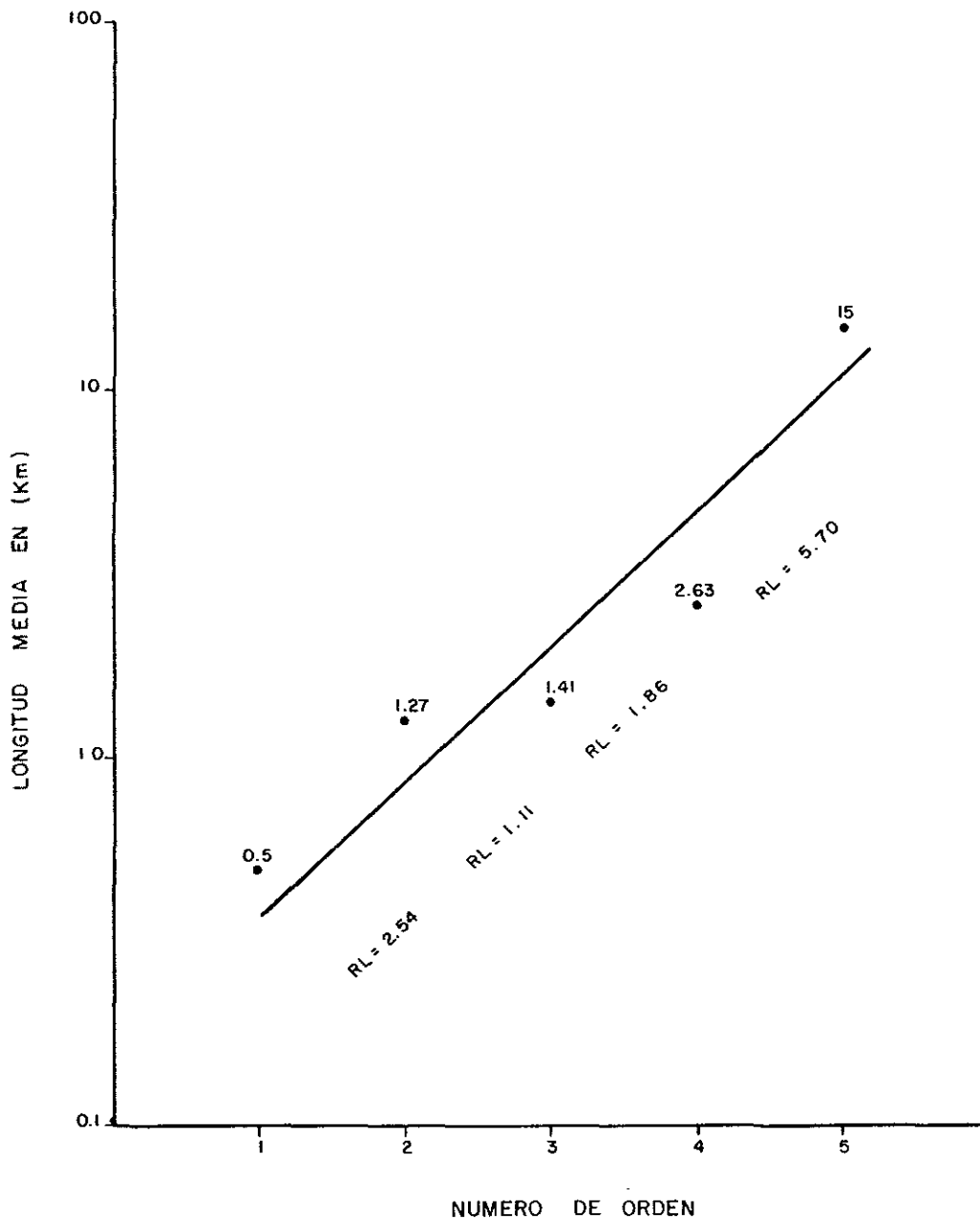
cuenca es normal en las partes de las laderas altas y que en cambio hacia la parte baja hay zonas donde existe cierto debilitamiento, asociado a suelo feozem y areniscas tobáceas.

También la gráfica de relación de longitud (gráfica No. 5), se trazó en papel semilogarítmico, con base en los datos del cuadro No. 3. Aquí se puede observar que la recta de ajuste correspondiente a todos los puntos presenta dos tendencias con respecto a los puntos de los valores de la longitud media. Se puede apreciar que la longitud media de los segmentos de primero, segundo y quinto orden es mayor y tienen una alineación definida. En cambio los valores de tercero y cuarto tienden a ser inferiores con respecto a los anteriores valores. Por esto puede decirse que en algunas partes de la cuenca, en donde se desarrollan los cauces de tercero y cuarto orden, las longitudes son menores porque al sobreponer el mapa del sistema fluviográfico con los mapas de declive, de geología y edafología, corresponden a las laderas con 2700 m.s.n.m. y un declive mayor a los 12° localizados al oeste y noroeste de la cuenca, sobre suelos andosoles y feozem de origen igneo. Como puede verse la región que atraviesan tiene un relieve ondulado, lo cual impide que los cauces posean grandes longitudes.

4.4.3. Frecuencia de cauces.

ESTA TESIS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA 79

GRAFICA No 5 RELACION DE LONGITUD DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI.



La frecuencia de cauces es la relación entre el número de segmentos de cauces de un orden dado entre el área que se abarca. La frecuencia puede ser absoluta o por número de orden. En ambos casos se toma el área total de la cuenca (369 km²). En el cuadro número 3 se muestran los conteos y mediciones así como los parámetros calculados.

De la expresión:

$$F_c = \frac{\text{Número de segmentos de un orden dado}}{\text{área}}$$

Se obtuvo que la frecuencia de segmentos de cauces de primer orden es en promedio de 2.14 por km², en tanto que el promedio de los de segundo orden es de 0.38 km², los de tercer orden de 0.10 km², los de cuarto de 0.05 km² y los de quinto orden de 0.03 por km².

La mayor frecuencia de segmentos de cauces se localizan en el centro-este y al noreste, mientras que la mayor frecuencia de segmentos por km², se encuentra al sur, suroeste y sureste. La frecuencia absoluta de cauces de toda la red hidrográfica con relación al área total es de 2.68 segmentos por km².

Para conocer la distribución geográfica de la frecuencia de cauces, se

contaron los cauces ubicados dentro de cada cuadro, de un km por lado, formado por la retícula U.T.M. (carta No. 12).

según ésta distribución geográfica los mayores intervalos entre 10 y 12 segmentos, se observan al sur de la presa Taxhimay, cubierto por areniscas-tobaceas, suelos feozem y vertisoles pélicos, igualmente este número de segmentos se localiza sobre andesitas en el noroeste y centro oeste, las cuales han dado origen a la formación de suelos feozem en la primera región y a andosoles en la segunda.

Entre 7 y 9 segmentos se presentan en la región centro y este, cuyos suelos están cubiertos por areniscas-tobaceas y feozem. Al sur y norte de la cuenca se intercalan áreas que cuentan con segmentos entre 4 y 6 y 1y 3, éste último rango predomina más al sur, en la región de andesitas y brechas volcánicas que han dado lugar a la constitución de andosoles y luviosoles.

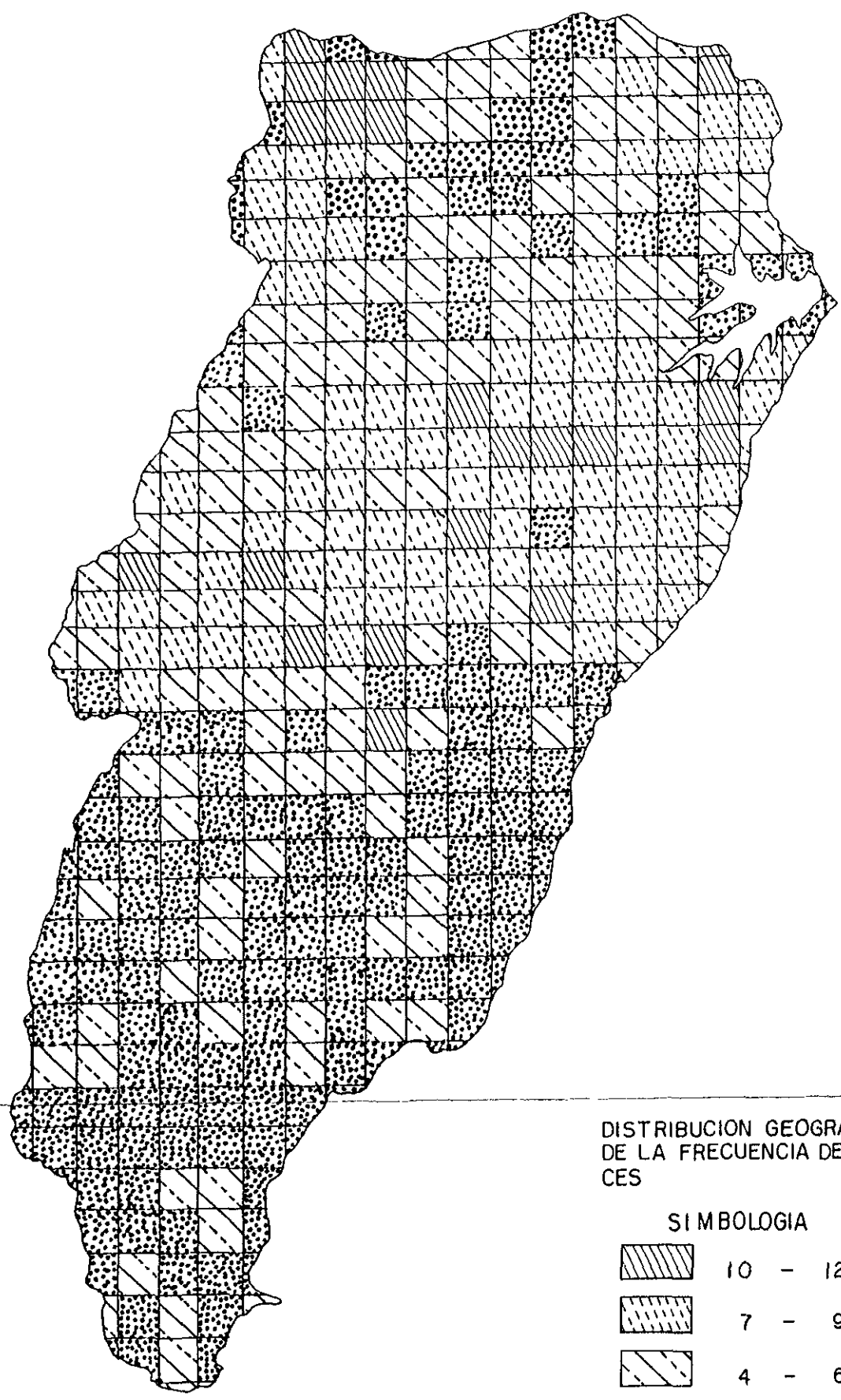
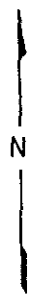
4.4.4. Densidad de drenaje.

Se define como la relación entre la longitud de los cauces en Km y el área total de una cuenca. Con base en esta definición se obtuvo para la región una densidad de drenaje de 188 km. La distribución geográfica de la densidad de

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI

19°55'
19°50'
19°45'
19°40'
19°35'

19°55'
19°50'
19°45'
19°40'
19°35'

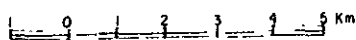


DISTRIBUCION GEOGRAFICA
DE LA FRECUENCIA DE CAUCES

SIMBOLOGIA

	10 - 12
	7 - 9
	4 - 6
	1 - 3

CARTA 12



99°35'

99°30'

99°25'

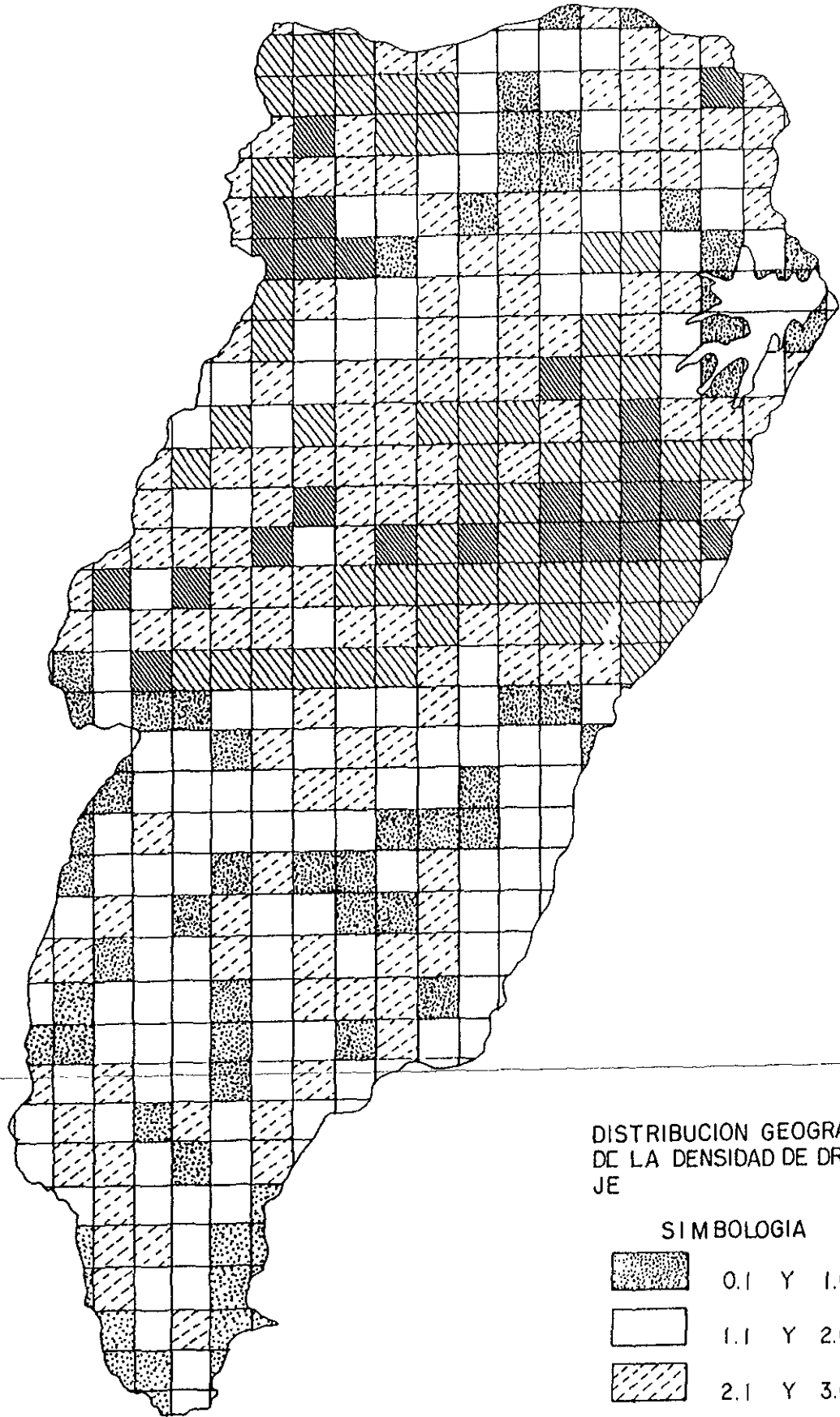
drenaje se conoció a través de la elaboración de una carta fluviográfica sobre la cual se trazó una retícula ortogonal de $1 \times 1 \text{ km}^2$, posteriormente se midió con un curvímeter la longitud de los segmentos de cauces por km^2 , según los resultados se establecieron cinco rangos (carta No. 13) y se les asignaron colores diferentes, para distinguir como se distribuían las densidades bajas, medias y altas.

Los rangos que oscilan entre 0.1 y 1.0; 1.1. y 2.0 y 2.1. y 3.0, ocupan una superficie parcial de 279 km^2 y sus segmentos poseen una longitud promedio de 522.7 km . En general se presentan en forma aislada, la mayor parte en el sur de la cuenca sobre andosoles y andesitas en algunos sectores del norte y alrededores de la presa, caracterizados por presentarse en suelos feozem y areniscas tobaceas sin embargo el último rango entre 2.1. y 3.0 se localiza en forma más continua en el centro de la cuenca. Igualmente en este mismo sector se ubican los otros dos rangos comprendidos entre 3.1. y 4.1 y 5.0. también sobre suelos feozem y areniscas tobaceas (carta No. 13).

En resumen se puede decir que la mayor densidad de drenaje se localiza en el centro, tanto al este como al oeste, cubriendo una área parcial de 205 km^2 ; y la menor densidad se observa al sur, abarcando una área de 164 km^2 .






4.5. Relación de la litología con algunos aspectos de la red

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI

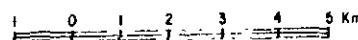


DISTRIBUCION GEOGRAFICA
DE LA DENSIDAD DE DRENA-
JE

SIMBOLOGIA

	0.1 Y 1.0
	1.1 Y 2.0
	2.1 Y 3.0
	3.1 Y 4.0
	4.1 Y 5.0

CARTA 13



99° 35'

99° 30'

99° 25'

19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

19° 35'

19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

19° 35'

Existe una relación entre los patrones básicos de la red de drenaje por ella establecidos y los controles litológicos y geológicos (Morisawa, 1985) Pero también la densidad de drenaje puede presentarse baja, media o alta dependiendo de la litología del terreno.

Tal es el caso particular del patrón dendrítico que se desarrolla sobre el parteaguas sur y oeste, cuyo avenamiento parece reflejar un desarrollo casual, que no se adapta a los accidentes del terreno, es decir no obedece al control estructural; esta región también tiene baja densidad de drenaje y subcuencas de primer orden relativamente grandes en comparación con las que se ubican en el centro de la cuenca. Esto se debe a que estos cauces se ubican sobre materiales duros y resistentes a la erosión fluvial, como son las andesitas y las brechas volcánicas. Sin embargo a pesar de esta característica pueden aportar gran cantidad de agua a los cauces subsiguientes, porque existe una cobertura de bosques que protegen el material subyacente, manteniendo constante el flujo de las corrientes, al retener más tiempo el agua para que pueda infiltrarse y almacenarse.

La densidad de drenaje más alta de la cuenca se localiza en el centro este, y es un avenamiento de espaldera precisamente porque el terreno por donde corre es parcialmente escarpado (2600 a 2400 m.s.n.m) con alternancia de rocas más y menos resistentes (areniscas y tobas) que dan lugar a este tipo de

avenamiento rectilíneo con corrientes consecuentes, subsecuentes, y obsecuentes (Leet, 1989). Lo que implica que este avenamiento se ha ajustado a la estructura.

La alta densidad (6 y 9 cauces por km^2) con relación a la región del parteaguas sur (1 y 2.1. cauces por km^2) se debe a que la superficie por donde fluyen es menos resistente (arenisca y tobas) y también lo es la cubierta de bosques y pastos.

CAPITULO 5

5.0 CLIMA DE LA CUENCA

El clima es de suma importancia porque determina en gran parte el tipo de suelo , vegetación y régimen de las corrientes fluviales y ligado con la topografía indica que capacidad de uso tiene el suelo, para el desarrollo de las actividades humanas que se requieren para el conocimiento de la hidrogeografía de la cuenca como base para efectuar el análisis del balance de la región. Para tal fin se utilizaron los datos de precipitación y temperatura media mensual de un periodo de 10 años (1970-1985) con base en los registros de las dos únicas estaciones que se encuentran dentro de la cuenca; la estación denominada presa Taxhimay, al igual que el vaso colector de la cuenca ubicada al noroeste de la misma, y la estación también termopluviométrica, Villa del Carbón localizada en el centro este de la región. De igual manera se utilizaron como apoyo los datos termopluviométricos de las estaciones: Santa María Nativitas, Santiago Tlazala y Santa María Magdalena. Debido a que la ubicación y altitud a la que se encuentran estas estaciones permiten fundamentar el estudio climático (cuadro

No 4). Precisamente la existencia de sólo dos estaciones meteorológicas dentro del área de la cuenca y pocas circunvecinas impidieron un cálculo exacto de la temperatura y de la precipitación, por lo tanto, se determinaron con base en la información obtenida de la investigación de Oropeza (1976) y los datos promediados de las estaciones meteorológicas antes mencionadas.

5.1. Temperatura

Con base en las cartas de climas del territorio nacional escala 1:500 000 y la de Oropeza Orozco escala 1:50 000 (mapa No. 14), se puede decir que la cuenca alta del río Tepeji se observa una ligera variación de temperatura (4°C), de acuerdo al gradiente altitudinal.

Las isotermas se distribuyen de la siguiente manera:

La isoterma de 17°C, se localiza sobre el talud de transición hacia el noroeste de la cuenca entre los 2600 y los 2700 m.s.n.m., rodeando las estribaciones de los cerros El Escorpión, cerro Blanco, el Ocote, el Campamento, los Baños de norte a noroeste, dichos relieves forman parte de las laderas sur y sureste de la sierra de Jilotepec. Al sur de la isoterma anterior se distribuye la isoterma de 16°C, la cual pasa al sureste de la presa Taxhimay a una altitud de

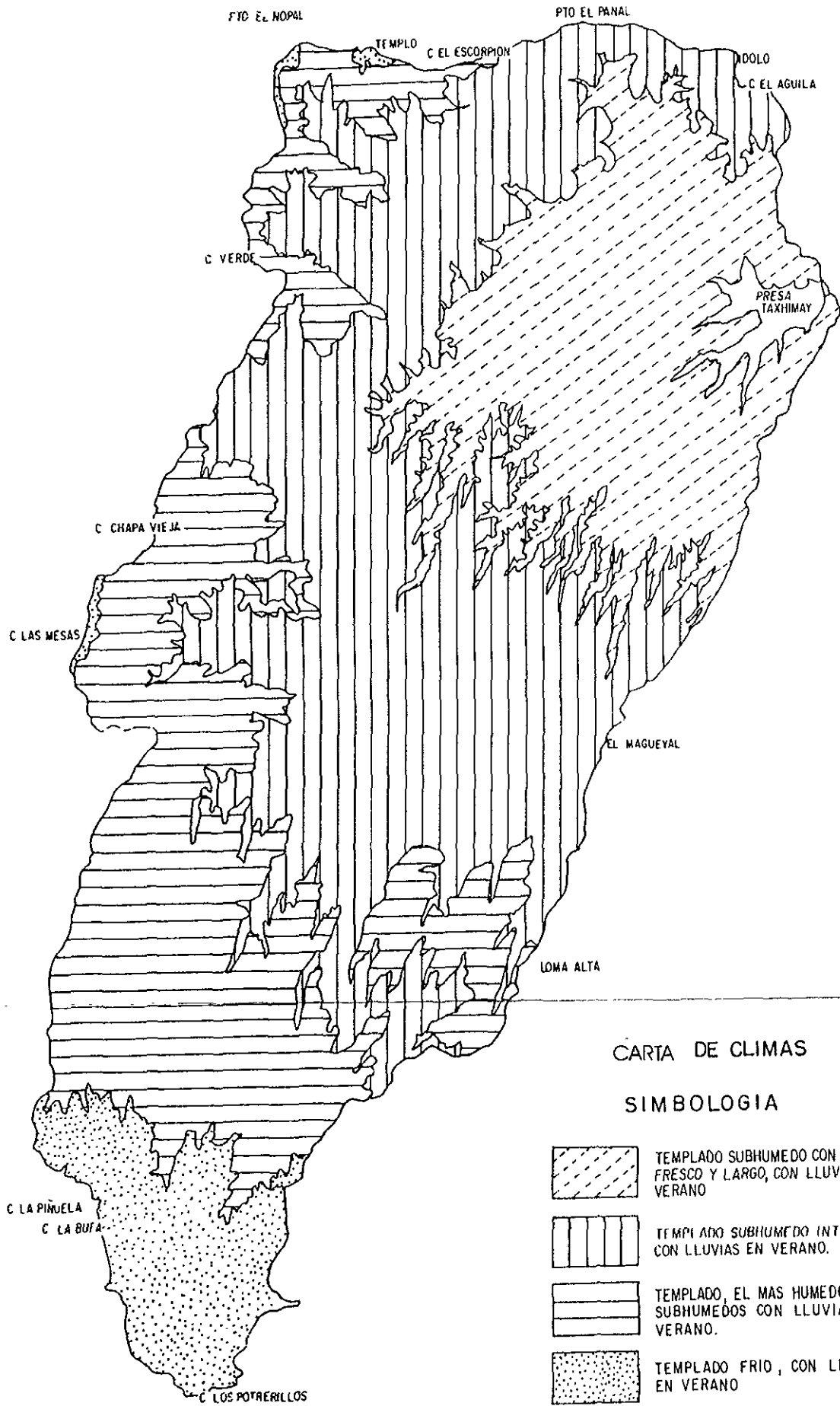
CUADRO No. 4

**RESUMEN DE LOS DATOS CLIMATICOS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI
TEMPERATURA MEDIA ANUAL Y ALTURA ANUAL DE LA LLUVIA
1975 1984**

ESTACION	PERIODO CONSIDERADO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
PRESA TAXHIMAY	T 10 AÑOS	13.1	13.7	16.9	18.3	19.1	18	17.1	17.2	15.1	15.9	14.5	13.6	16°C
	P 10 AÑOS	10.7	16.4	12.5	31.5	82.2	135.1	185.2	145.1	105	51.6	9.5	9.1	782.9 mm
VILLA DEL CARBON	T 10 AÑOS	12.1	13.2	15.6	17	14.8	14.9	15.6	15.9	15.3	14.9	132.3	132.3	14.6°C
	P 10 AÑOS	13	10.9	10.4	23	99.3	206.0	232.8	173.5	159.0	80.8	9.3	9.3	1849.6 mm
SANTIAGO TLAZALA	T 10 AÑOS	10.9	11.5	12.9	15.2	15.7	15.2	13.4	14.4	13.9	13.4	12.1	9.7	13.2°C
	P 10 AÑOS	22.6	25.4	21.7	48.1	44.1	244.1	285.1	275.9	265.9	47.1	16.9	19.9	1316.8 mm
SANTA MARIA MAGDALENA CAHUACAN	T 10 AÑOS	13.1	13.4	14.6	13.7	13.6	14.1	13.8	14.1	14.4	14.3	13.7	13.7	13.8°C
	P 10 AÑOS	12.6	15.9	20.7	65.9	108.7	193.0	237.9	243.5	181.2	93	13.8	18.5	1204.7 mm
SANTA MARIA NATIVITAS	T 10 AÑOS	10.8	11.1	15.2	16.5	16.3	15.6	14.7	13.1	14.7	14.1	12.2	11.7	13.8°C
	P 10 AÑOS	24.8	14.8	7.3	24.6	55.6	147.2	207.8	192.9	134.8	79.1	18.9	16.6	924.4 mm
SUMA PROMEDIO	T 10 AÑOS	12	12.6	15.1	16.2	15.9	15.6	14.9	14.9	14.6	14.5	13.2	12.3	14.3°C
	P 10 AÑOS	16.9	16.72	14.53	38.64	77.9	343.11	229.20	207.61	170.05	70.3	13.68	16.61	1215.6 mm

Fuente : Comisión Nacional del Agua, S.A.R.H. 1997.

CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJEI



CARTA 14

99° 35'

99° 30'

99° 25'

19° 55'

19° 50'

19° 45'

19° 40'

19° 35'

2300 m.s.n.m, y continua en dirección suroeste hasta rodear las estribaciones del cerro Las Animas a 2800 m.s.n.m. La Isotherma de 15°C la cual se extiende de este a suroeste, de los 2600 m.s.n.m. al sur de Villa del Carbón hasta los 2 800 m.s.n.m., bordeando la serranía de las Masas y la base de la sierra de Monte Bajo: por último se tienen las Isothermas de 14°C y 13°C, la primera se localiza entre los 2700 y 3000 m.s.n.m y la segunda entre los 2800 y los 3100. Ambas se encuentran en las partes más altas de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, al sur de la cuenca.

La temperatura media de la cuenca se obtuvo al promediar las isothermas anteriores con la temperatura media de las estaciones meteorológicas (cuadro No. 4), del cual resultó una temperatura de 14.7 °C

5.2. Precipitación

De acuerdo con las cartas de climas del I.N.E.G.I., escala 1:500 000 y la de Oropeza Orozco, escala 1:50 000, La región más lluviosa con isoyetas entre los 1100 y los 1200 mm, se localiza en las montañas del sur de la cuenca a altitudes mayores a los 2 800 m.s.n.m. Mientras que las zonas más secas, de 1000 mm se ubican en el norte a 2700 m.s.n.m. y al sur y suroeste de la presa Taxhimay, de 900 mm, a una altitud de 2500 m.s.n.m. El promedio general la de precipitación,

en la cuenca. es de 1052.6 m.m anuales, cálculo recabado de promediar el valor de las isoyetas con la precipitación de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis climático de la región en estudio.

5.3. Descripción y localización de los principales tipos de climas y correlación con algunas características de la geografía física

De acuerdo a la carta de clima número 14 mencionada anteriormente, el principal tipo de clima de la cuenca es el templado cw con cuatro subtipos (I.N.E.G.I); carta de climas 1:500 000), que se distinguen por su grado de humedad y de temperatura; en la parte baja de al cuenca, entre la cota de los 2200 y la de 2400 m.s.n.m. se encuentra el primer subtipo (cw₁) (cw) bg, con humedad intermedia, lluvias de verano y un cociente P/T entre 43.2 y 55.0, su régimen, térmico es templado con verano fresco y largo, temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y del mes mas caliente entre 6.5°C y 22°C, presenta la máxima temperatura antes del solsticio de verano g (tipo Ganges). Este tipo es característico de la región de suelos feozem, cubierta por vegetación secundaria e inducida.

En el talud de transición, zona de suelos feozem y luviosoles donde el bosque característico es la asociación de pinares y encinos se ubica el segundo

subtipo de clima el C (w₁) (w) b (i) g entre los 2500 y los 2700 m.s.n.m.; este clima es templado un poco más húmedo que el anterior, con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0 y lluvias de verano retrasadas al otoño. Su régimen térmico es idéntico al primer subtipo; sólo, difiere en que presenta oscilación térmica entre 5°C y 7°C.

De los 2700 m.s.n.m. a los 2900 m.s.n.m, es una región de laderas cubiertas por suelos lluviosoles y andosoles, asociados a pinares. En esta zona el clima característico es el C (w₂) (w) b (i) g, con un cociente P/T mayor de 55.0 y lluvias de verano retrasadas al otoño; el régimen y oscilación térmica al igual que la marcha de la temperatura son idénticos a los dos anteriores. Este tercer subtipo caracteriza a la región centro este de la cuenca, en donde se asientan las poblaciones de *Villa del Carbón*, *el Magueyal*, *Loma Alta*, *Llano de Zacapexco*, *San Lucas*, entre otras.

último de los subtipos el C(E) (w₂) w se localiza en el norte, oeste y sur de la cuenca entre los 3000 y 3 500 m.s.n.m. Es una región montañosa cubierta por andesita en la parte norte y por andosoles la zona oeste y sur, el bosque característico es el oyamel.

El C(E) (w₂) w, es un subtipo de clima templado frío, con lluvias en verano y un porcentaje de la lluvia invernal menor a 5%.

5.4. Relación entre la geología, el clima y el comportamiento hidrológico.

Las montañas, planicies altas y el talud de transición (cuadro No. 2) están cubiertas por andesitas y brechas volcánicas, de gran resistencia a la erosión, sin embargo el intemperismo físico y químico favorecido por las abundantes precipitaciones entre 1200 y 1000 m.m anuales, ha causado un alto grado de fractura a la roca, contribuyendo a aumentar la infiltración y dando origen al afloramiento de manantiales, sobre todo al sur del cerro de La Bufa, los cuales aportan agua a los ríos, especialmente en la época seca del año.

En este sector, los lechos de los ríos están mal adaptados a las exigencias hidrodinámicas, a causa de la resistencia que encuentran las corrientes en estas rocas muy consolidadas, de ahí que desde su nacimiento hasta su contacto con los depósitos volcánicos heterogéneos, los lechos presentan variaciones continuas tanto en anchura como en profundidad, en cortas distancias. Sus pendientes son irregulares y el agua se ve obligada a escurrir por los lugares que oponen menos resistencia. En la época de lluvias el gasto de los ríos aumenta y su poder erosivo adquiere mayor importancia en el minamiento de las márgenes, ya que la dureza del material impide el ataque vertical directo; el socavamiento de aquellas se efectúa por el desgaste que provocan las corrientes, así como por efectos gravitacionales generados por procesos de solifluxión y derrumbes de las laderas, lo cual ocasiona escombros de gravedad que invaden constantemente

las orillas del río.

En el talud de transición y las planicies, zona de depósitos volcánicos heterogéneos conformado por conglomerado, areniscas y tobas (cuadro No. 2) la infiltración disminuye, debido a que la cantidad de vidrio volcánico actúa como un sello hidrológico, además de que las precipitaciones son menos abundantes dando lugar a un clima más seco (C (w₁) (w) b (i) g). La dinámica de los ríos también cambia cuando hacen contacto con estos depósitos de menor resistencia, originando una mayor uniformidad en la pendiente del lecho de los ríos así mismo un ensanchamiento en el cauce. Pero a partir de los 2490 m, este cauce se vuelve angosto y se encajona promoviendo una fuerte incisión vertical, debido a que el área está sufriendo levantamientos lentos, pero con continuos, que han provocado una serie de saltos de agua, que coinciden con cada empuje que ha sufrido el terreno hacia arriba .

Los valores más altos de precipitación, escurrimiento e infiltración se encuentran en las partes más altas o medias de la cuenca, donde por las características de la litología, el relieve, el suelo y la vegetación existen condiciones favorables para ello; mientras que en la parte media y baja estos valores disminuyen.

CAPITULO 6

6.0 ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDRICO

6.1. Balance hídrico general

Se entiende por ciclo hidrológico, o ciclo del agua, al proceso de la naturaleza en el que el agua de la superficie terrestre atraviesa sucesivas etapas al pasar de la atmósfera a la superficie de la corteza terrestre y de ésta de nuevo a la atmósfera implicando: precipitación, escurrimiento infiltración, transpiración, evaporación, condensación y de nuevo precipitación. Aunque puede haber volúmenes que se almacenan, por ejemplo en presas, en el subsuelo o en glaciares, conviene considerar el ciclo como un balance de agua: la cantidad que entra sale de alguna manera. La más importante entrada que registra el ciclo hidrológico es la precipitación y las salidas son la evaporación y la transpiración. Entradas y salidas están ligadas por flujos en la atmósfera, en los océanos y en los cursos de agua de los continentes. El almacenamiento tiene lugar en los océanos, en la criosfera (áreas cubiertas por hielo) y en las aguas subterráneas

(López 1992).

Las relaciones entre precipitación (P), evapotranspiración (Et), escurrimiento superficial (R) y el agua infiltrada almacenada en el suelo (I), se expresan en el balance hídrico, cuya formulación puede ser del siguiente modo:

$$P = R + Et + I.$$

6.2. Precipitación

La precipitación es la principal entrada del agua en la cuenca; se le considera como el factor genético más importante, del escurrimiento.

Por ello, los factores que determinan la precipitación rigen indirectamente al régimen hidrológico, y así las variaciones en el tiempo y en el espacio de la primera se reflejan a menudo en variaciones del escurrimiento como una función dinámica del proceso de respuesta (Meza, 1976).

Con base en los datos de precipitación, obtenidos de un periodo de diez años, de las estaciones; presa Taxhimay, Villa del Carbón, Santa María Nativitas, Santiago Tlazala, Santa María Magdalena; y el promedio de las isoyetas de la carta de climas de Oropeza (1976), se estima que la precipitación media anual de

la cuenca es de 1052.6 mm. Esta lámina de lluvia cubre una superficie de 369 km² y genera un volumen pluvial de 388.41 millones de metros cúbicos.

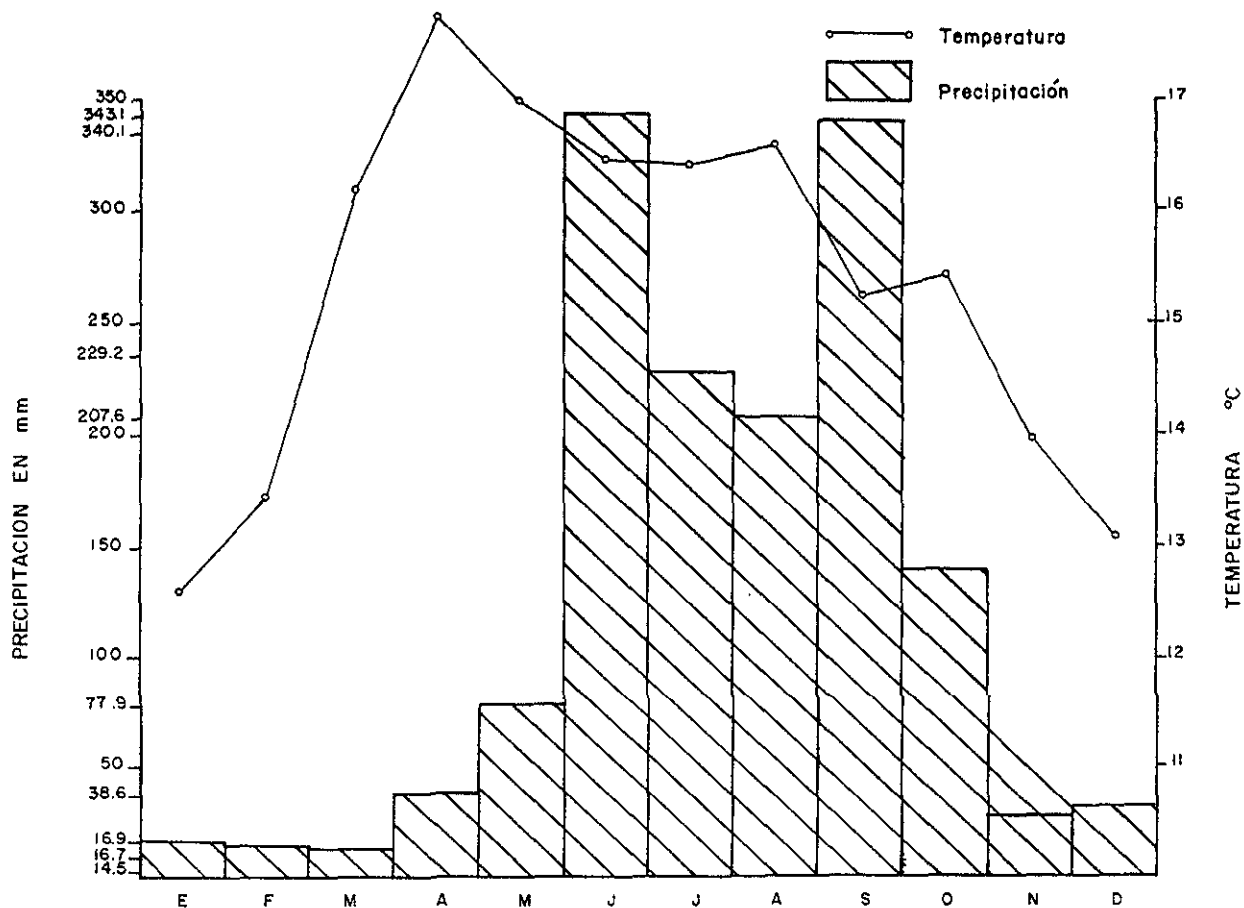
Con los datos de los registros de precipitación (1975-1984), se calcularon los promedios mensuales y se pudo observar las siguientes tendencias; en los primeros meses se parte de cero, o de cantidades mínimas de precipitación, 16 mm. en promedio, particularmente en los meses de enero a abril. En mayo inicia el aumento de humedad alcanzando su máxima expresión en julio y agosto. A partir de septiembre empieza a descender sensiblemente hasta alcanzar el mínimo (gráfica no. 6)

Durante la temporada de lluvias, que en la región corresponde a los meses de mayo a septiembre, se registraran 657.57 mm. de pluviosidad equivalentes al 84% de la precipitación anual en la estación de la presa Taxhimay, localizada en la parte más seca de la cuenca a 2235 m.s.n.m.

En los mismos meses de la época de lluvia se registran en la estación de Villa del Carbón 864.9 mm, que corresponden al 82.4% del total de dicha estación, situado a 2755 m.s.n.m. (cuadro no. 4).

La cuenca en general, en el período de lluvias de mayo a septiembre alcanza una precipitación de 867.9 m.m. que corresponden al 82.3 % del total

GRAFICA No. 6 PRECIPITACION Y TEMPERATURA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI. 1975 - 1984.



FUENTE. COMISION NACIONAL DEL AGUA SRH. 1997

anual, no obstante los meses de menor humedad, de enero a abril, presentan una pluviosidad de 86.82 m.m. y un porcentaje de la precipitación total de sólo 7.8 %.

Las causas de la alta pluviosidad coincide con la entrada de las masas de aire húmedo del verano (alisios) que colocan a la región bajo un dominio de lluvias de verano que se prolongan hasta septiembre. Estas lluvias son de tipo orográfico y convectivo. En las primeras el relieve actúa como una barrera que obliga al aire a ascender, enfriándose adiabáticamente, para luego formar nubes del grupo de los cúmulos y estratos que se precipitan en abundantes lluvias en las serranías del sur de la cuenca. Las segundas se originan por los movimientos verticales que sufren las masas de aire que, al estar con contacto con el suelo, se calientan, ascienden y se enfrían adiabáticamente: al enfriarse, el vapor de agua que llevan consigo se condensa formando principalmente cúmulos, los que posteriormente dan lugar a tormentas eléctricas, fuertes chubascos y, en ocasiones, granizadas. De otro tipo son las lluvias provocadas por las ondas del este y los ciclones tropicales que favorecen las precipitaciones, sobre todo en los meses antes mencionados (Oropeza, 1976).

A principios del otoño, las perturbaciones ciclónicas, que se producen tanto en el Atlántico, como en el Pacífico, introducen más aire frío y húmedo, ocasionando el mal tiempo.

En invierno también se producen algunas lluvias de tipo frontal causadas por masas de aire muy húmedo, procedentes del noreste y que son conocidas como nortes produciendo periodos de 2 a 5 días de mal tiempo. El fenómeno precedente también puede provocar precipitaciones nivosas, en las partes más altas de las serranías en particular cuando se tienen masas de aire húmedo de los "nortes". Sin embargo la precipitación invernal en la región de estudio, alcanza sólo el 10.2% de la precipitación total (Meza, 1976).

6.3. Evapotranspiración y su volumen

Los fenómenos de evaporación y transpiración vegetal que en conjunto constituyen el proceso hídrico conocido como evapotranspiración, desempeñan un papel fundamental en el ciclo del agua ya que tienen un papel significativo dentro del balance hidrológico.

La evapotranspiración es el proceso que indica la cantidad combinada de agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada desde el almacenamiento de humedad del suelo a través de la vegetación. La transpiración es un proceso biológico que tiene lugar en las plantas, en virtud del cual expulsan por sus partes aéreas, El agua que toman del suelo

Los principales factores que influyen en la evapotranspiración se agrupan básicamente en tres grandes grupos:

- Factores climáticos son los que abarcan principalmente la radiación solar, el poder evaporante de la atmósfera, el viento y la temperatura. La fuente de energía primaria para la evaporación del agua es la radiación solar y la cantidad de evaporación depende de la velocidad del viento y del grado de turbulencia en el aire que pesa sobre la superficie de evaporación, así como la diferencia de presión de vapor entre la superficie del agua y el aire insaturado que está encima.

- Factores edáficos. Son los que influyen principalmente en el contenido de humedad del suelo, y en la facilidad por parte de este, para cederla, es decir, la accesibilidad del agua a la superficie evaporante (Suelo y Vegetación).

- Factores biológicos; los que comprenden la etapa de desarrollo de las plantas y los diversos tipos de especies.

De estos tres factores, el clima es el de mayor influencia, porque los otros dos se compensan entre sí: cuando la vegetación es rala, la transpiración es poca, pero el suelo, al no estar cubierto totalmente, presenta mayor superficie para la evaporación, inversamente, cuando la vegetación es exuberante y cubre la superficie del suelo, éste sufre una evaporación menor, aunque la vegetación

origina una elevada transpiración (Meza, 1976). No obstante, la existencia de esta relación de compensación, es relativa ya que su alteración llega a ser tan decisiva como lo es la influencia del clima; porque las zonas de vegetación no guardan un equilibrio constante, al ser las más expuestas a la influencia del hombre.

Existen dos tipos de evapotranspiración; la real y la potencial, la primera, es la correspondiente a un momento determinado y es la que interesa en este caso, ya que al disminuir el abastecimiento del agua del suelo disminuye también el agua evapotranspirada y por lo tanto no es posible medirla fácilmente. La evapotranspiración potencial es un concepto introducido por Thornthwaite y es la que teóricamente se produciría si el suelo tuviera la cantidad de agua necesaria para tener una producción vegetal óptima

Para el cálculo de la lámina de evapotranspiración media anual real se utilizó la fórmula de Turc (Remenieras, 1974). Esta ecuación considera únicamente la precipitación y temperatura media anual (cuadro No 4).

La fórmula de Turc es:

$$ET = \frac{P}{L^2 \sqrt{0.9 + (P)^2}}$$

En la cual:

E = lámina de evapotranspiración en milímetros.

P = precipitación media anual en milímetros.

$L^2 = A 300 + 25 T + 0.05.T^3$ coeficiente térmico referido a la temperatura media anual

T = Temperatura media en grados centígrados.

En el área de la cuenca del río San Jerónimo, se tiene una temperatura promedio de 14.7°C y una precipitación de 1052.6 mm anuales, sustituyendo queda:

$$L^2 = 300 + 25 (14.7) + (0.05) (14.7)$$

$$L^2 = 300 + 367.5 + (0.05) (3176.523)$$

$$L^2 = 826.32$$

$$L = 682814.9$$

$$ET = \frac{1052.6}{\sqrt{0.9 + \frac{(1107966.8)}{682814.9}}}$$

$$ET = 662 \text{ m.m.}$$

Por lo tanto la lámina de evapotranspiración estimada para la cuenca del río Tepeji es: de 622 mm, lámina que en conjugación con el área de la cuenca corresponde a 244.3 millones de metros cúbicos.

6.4. Escurrimiento y su volumen

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre; una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

Después de que las depresiones del suelo se llenan y si la intensidad de la lluvia excede a la capacidad de infiltración del suelo, la diferencia dará origen a lluvia en exceso que empezará a escurrir sobre la superficie. Este flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos; y se denomina escorrentía, la cual se sigue infiltrando e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en escurrimiento en corrientes.

La escorrentía junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta

parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se le denomina escurrimiento subterráneo (Linsley, 1977).

La escorrentía es un proceso que domina en todas sus etapas dentro de la cuenca. En regiones montañosas como las serranías de Monte alto y Monte Bajo situados al sur, la serranía de Las Masas en el centro oeste y la serranía de Jilotepec en el noroeste de la zona se desarrolla en sus partes altas que coincide con el bosque conservado, la escorrentía difusa moderada; en las laderas con una vegetación boscosa semiperturbada, se observa la escorrentía difusa fuerte; en las partes bajas con poca vegetación arbórea es más notable la escorrentía concentrada.

En las planicies del centro este como es el caso de Villa del Carbón impera la escorrentía difusa moderada, la fuerte y los escurrimientos fluviales en el noreste (pedimento de la soledad), la escorrentía concentrada es el proceso predominante.

Los alrededores de la presa Taxhimay es la zona mas afectada por los procesos hídricos, incidiendo considerablemente en el terreno, la escorrentía y el escurrimiento de las corrientes.

Los factores que afectan el escurrimiento son los climáticos y fisiográficos.

El factor climático, influye probablemente más efectivamente en el volumen del escurrimiento, porque es la diferencia numérica entre la precipitación y la evapotranspiración de la cuenca.

Dentro de los factores fisiográficos, se engloban las características físicas de la cuenca, siendo la más importante su tamaño o área y también las que afectan a la infiltración y a la evaporación que son la pendiente, tipos de suelo y rocas. Igualmente debe considerarse a la altitud y su influencia indirecta en el escurrimiento, debido al efecto orográfico en la precipitación y por último la cobertura vegetal, la cual determina el régimen del escurrimiento. (Campos, 1987)

Los volúmenes de escurrimientos se estimaron con base en los datos obtenidos de la estación hidrométrica El Calabozo, en la cual se miden los volúmenes mensuales de la cuenca alta del río Tepeji, y las subcuencas vertientes de los ríos San Luis, Tenerías, Río Seco a la presa Taxhimay, (Comisión Nacional de Agua S.R.H. 1977), localizada en la salida de la presa Taxhimay.

Los datos estadísticos de la estación hidrométrica El Calabozo, correspondientes a los años 1975, 1976, 1978 y 1984, presentaban registros incompletos por lo tanto se recurrió a los años con registros completos de 1986 a

1994, de donde se obtuvo que el escurrimiento medio anual de la cuenca alta del río Tepeji es de 67.86 millones de metros cúbicos.

Los escurrimientos varían de la siguiente manera en el transcurso del año: en los primeros tres meses de enero a marzo, registran en promedio solo el 3.5% del escurrimiento anual (cuadro No. 5). El incremento del escurrimiento comienza a partir del mes de abril alcanzando un 11.76% del total anual. El máximo escurrimiento se presenta en mayo con un 16.18%, en julio disminuye el 12.80%, y los dos meses siguientes julio y agosto tienen solo en promedio un 7.5%, volviéndose a incrementar a 11.62% en septiembre, hasta alcanzar el 14.11% en octubre. Los escurrimientos empiezan a disminuir en noviembre hasta llegar sólo el 2.7% en el mes de diciembre, comportamiento que se prolonga hasta mediados de abril (gráfica no. 7). Este hidrograma muestra que el primer pico se alcanza en el mes de mayo y el segundo pico en octubre.

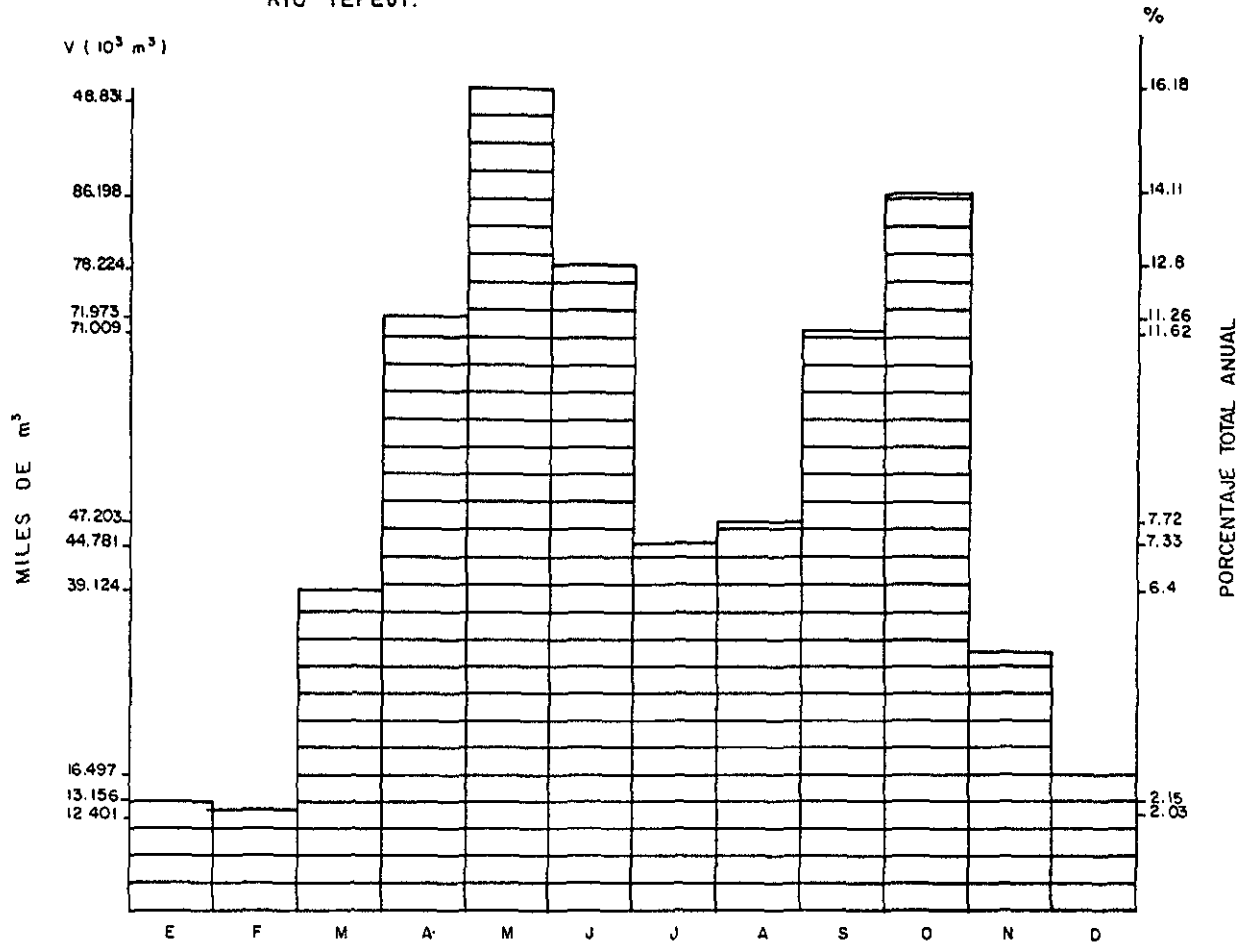
En la gráfica no. 8, con base en el cuadro no. 5 se puede observar una irregularidad respecto al escurrimiento, este no corresponde a los máximos de lluvia, en junio y julio, sino que los máximos escurrimientos se presentan en mayo. Este desfase del escurrimiento posiblemente se debe a volúmenes de agua subterráneas surgentes a lo largo de los cauces originados por las perturbaciones ciclónicas caracterizados por lluvias torrenciales que se registran en septiembre y octubre, las cuales se retienen o almacenan temporalmente en el subsuelo.

CUADRO No. 5**VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL (10³M³)****ESTACION EL CALABOZO**

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1986	1130	1021	1842	4961	13367	3599	7.35	1546	1437	1766	1766	1434	40100
1987	993	1110	1627	26255	6442	1187	1109	574	6160	851	1365	1450	49122
1988	1477	1353	1387	13325	9454	6	170	5532	288	1384	1356	1398	45809
1989	1275	1055	10979	9655	1137	7497	9620	809	1098	1212	1661	1216	46716
1990	1245	670	493	7867	4205	6481	488	7122	25116	13469	3291	1735	72181
1991	1650	671	2708	2648	10320	15780	19031	22378	9432	14305	4944	2575	106443
1992	1841	4403	18084	780	30	37	12026	7668	5580	36769	17780	2366	102365
1993	3000	1133	628	5197	36940	1604	70	20	5737	8957	3146	2438	82870
1994	1545	985	1376	1185	16936	18353	1534	1554	16159	1989	1903	1685	65204
Total	13156	12401	39124	71873	98831	78224	44783	47203	71009	86198	31712	16497	67867
%	2.15	2.03	6.4	11.76	16.18	12.8	7.33	7.12	11.62	14.11	5.19	2.7	99.99

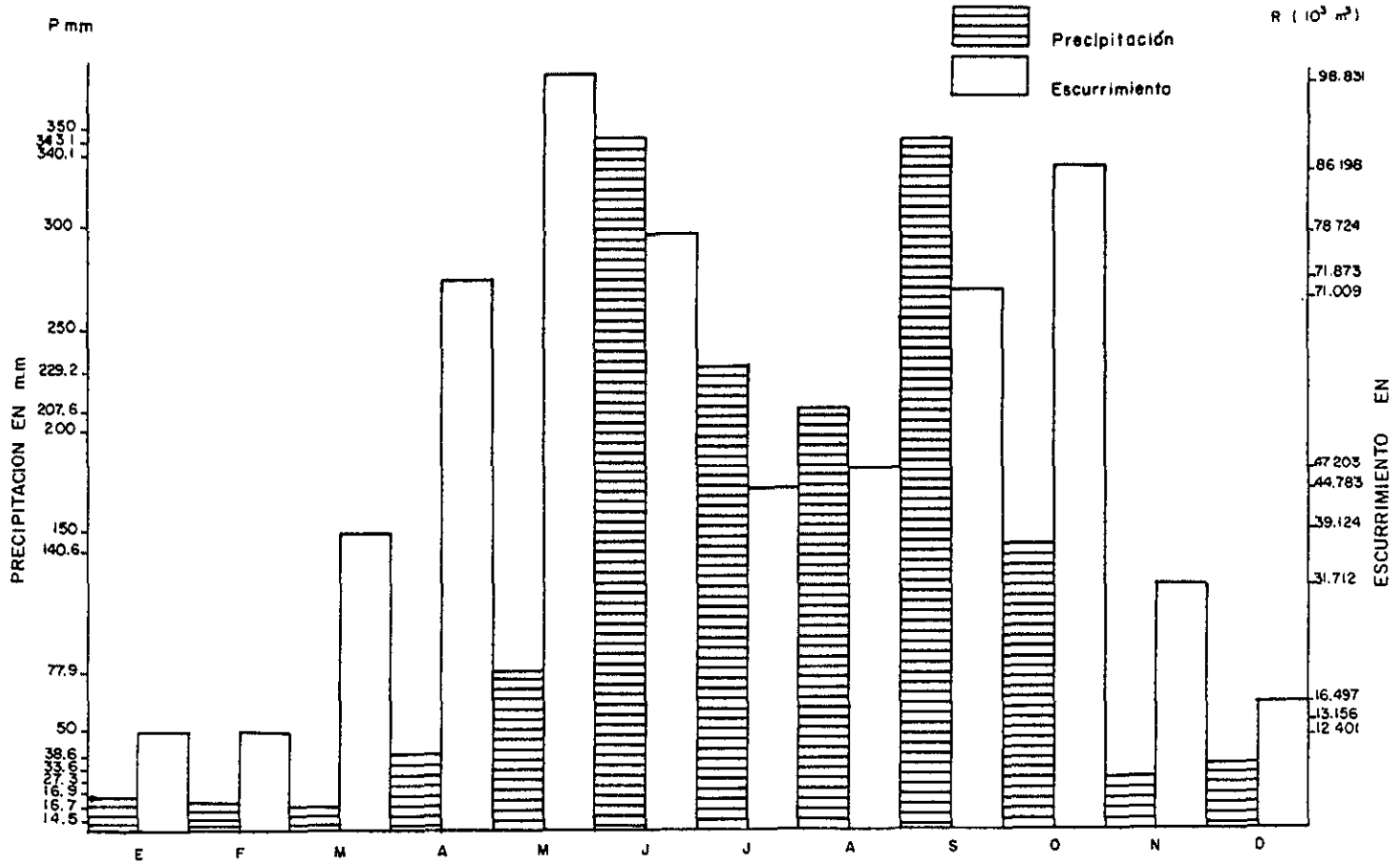
Fuente: Comisión Nacional del Agua S.A.R.H. 1997

GRAFICA No. 7 VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI.



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SRH 1997

GRAFICA No 8 PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJUI



FUENTE: COMISION NACIONAL DEL AGUA SRH 1997.

El cuadro estadístico no. 6 y la gráfica no. 9, correspondientes a los gastos medios mensuales de escurrimiento de la cuenca alta del río Tepeji, presentan caudales notables con un promedio de 3.426 m/seg, en los meses de abril, mayo, junio y durante los de septiembre y octubre concerniente al lapso de nueve años.

6.5. Infiltración y su volumen.

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo y subsuelo desde la superficie y queda retenida en él, hasta alcanzar un manto acuífero a mayor profundidad, recargando el volumen de éste.

El estudio de la infiltración es de mucha importancia para comprender y cuantificar la relación precipitación, escurrimiento, ya que las cuencas con baja infiltración presentan un régimen de escurrimiento caracterizado por fuertes avenidas de corta duración y caudales nulos o un gran estiaje durante la mayor parte del tiempo. En cambio en las cuencas de alta infiltración en cuya superficie hay estratos muy permeables, encima del nivel freático, el escurrimiento será más uniforme durante la mayor parte del transcurso del año.

En este aspecto la cuenca en estudio se caracteriza por poseer una

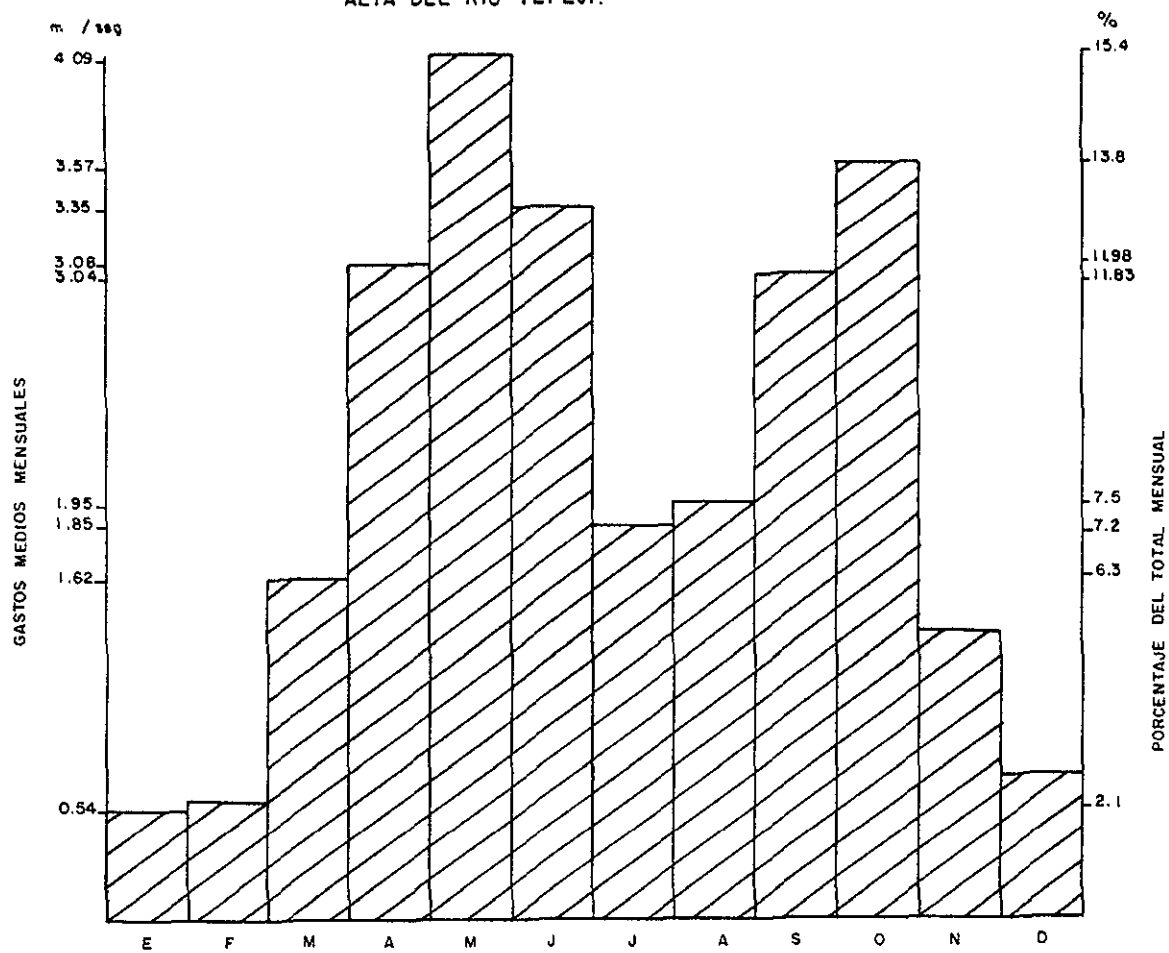
CUADRO No. 6

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m³/seg) DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1986	0.42	0.69	0.69	1.91	4.99	1.39	0.27	0.58	0.55	2.71	0.68	0.54
1987	0.37	0.61	0.61	10.13	2.41	0.46	0.41	0.21	2.38	0.32	0.53	0.54
1988	0.55	0.52	0.52	5.14	1.97	3.35	0.06	2.07	0.11	0.52	0.52	0.52
1989	0.50	2.31	2.0	4.43	3.53	3.09	3.54	1.18	0.26	0.45	0.48	0.48
1990	0.48	0.44	4.1	3.73	0.42	2.84	5.32	0.30	0.42	2.89	0.45	0.45
1991	0.46	0.28	1.01	1.02	3.85	6.09	7.11	8.35	3.64	5.34	1.91	0.96
1992	0.69	1.76	6.75	0.30	0.01	0.01	4.49	2.86	2.15	13.73	4.93	0.88
1993	0.75	0.47	0.23	2.01	13.79	6.41	0.03	0.01	2.21	3.34	1.21	0.91
1994	0.58	0.41	0.51	0.46	6.32	7.08	0.57	0.58	6.23	0.74	0.73	0.63
%	2.1	2.17	6.3	11.98	15.92	13.04	7.2	7.59	11.83	13.89	5.33	2.6
Total	0.54	0.56	1.62	3.08	4.09	3.53	1.85	1.95	3.04	3.57	1.37	0.67

Fuente: Comisión Nacional del Agua. S.R.H. 1997.

GRAFICA No. 9 GASTOS MEDIOS MENSUALES DEL ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI.



FUENTE. COMISION NACIONAL DEL AGUA SRH. 1997

infiltración media producto de la presencia del material volcánico tanto de baja (andesitas) como de alta permeabilidad (areniscas - tobaceas); y unidades de escurrimiento igualmente bajo y medio con rangos para el primero entre el 5% y 10%, localizados en el sur, centro y norte de la región y el segundo rango entre el 10% y 20% en sectores montañosos del oeste, noroeste y sur este de la cuenca (I.N.E.G.I. Aguas superficiales escala 1:250 000). Estos rangos son propios de los relieves ondulados, con declives relativamente altos, precipitación media cerca a los 1000 mm anuales, vegetación medianamente densa, sobre todo en las partes más elevadas y prácticas agrícolas generalizadas.

La infiltración es afectada por factores como: la intensidad de la lluvia, la compactación del suelo, la intrusión de partículas finas, la expansión de arcilla; y el declive, el cual influye en el tiempo de permanencia del escurrimiento del agua, sobre la superficie y en el espesor de lámina del flujo sobre el terreno. Por último, la densidad de la cobertura vegetal, quien ayuda a frenar el impacto de la lluvia y retiene más tiempo el escurrimiento, permitiendo la infiltración.

Anteriormente se dijo que la cuenca alta del río Tepeji tiene una infiltración media con base en las características de las rocas, suelos, declive, cubierta vegetal y uso del suelo. Sin embargo para expresarlo desde el punto de vista cuantitativo es necesario deducirlo de los valores, estimados de la precipitación, aplicando para ello la fórmula del balance hidrológico de donde:

$$P = R + ET + I$$

$$I = P - (R + ET)$$

$$P = \text{Precipitación} = 388.41 \text{ millones de m}^3$$

$$R = \text{escurrimiento} = 67.86 \text{ millones de m}^3$$

$$ET = \text{evapotranspiración} = 244.3 \text{ millones de m}^3$$

$$I = \text{infiltración} = 76.25 \text{ millones de m}^3$$

$$I = 388.41 - (67.86 + 244.3)$$

$$I = 76.25 \text{ millones de metros cúbicos}$$

Con base en lo anterior, se obtuvieron las siguientes cantidades de agua, en millones de metros cúbicos

	P	R	ET	I
volumen en millones de m ³	388.41	67.86	244.3	76.25
porcentaje	100 %	17.47%	62.89%	19.63%

Es conveniente indicar que estas cantidades obtenidas en el balance hídrico pueden considerarse normales porque como se observa, del total de la precipitación por lo general las dos terceras partes se las lleva la evaporación.

CAPITULO 7

7.1. EL USO DEL SUELO, AGRICULTURA, GANADERÍA Y EXPLOTACIÓN FORESTAL

De la superficie total de la cuenca la agricultura ocupa 90 Km². De esta área el 69.7% es de temporal y el 20.3 de riego. En cuanto a los bosques se extienden en una área de 205.65 Km² de la cual el 33.94%, corresponde a la especie de los pinos, el 18.53% a la asociación de pino encino y solo el 3.25% a la especie del oyamel; la vegetación secundaria ocupa una superficie de 57 Km², equivalente al 15.44% del área total, por último se estima que un porcentaje de 16.35% es destinado a otros usos en la región.(cuadro No. 7).

La cuenca no tiene una vocación agrícola, sin embargo cada vez aumenta más el aclareo de suelos de uso forestal para dar paso a la siembra de cultivos.

El principal cultivo es el maíz, le siguen en importancia los cultivos de avena y en mínima proporción los de cebada, trigo, frijol y haba, estos dos últimos

CUADRO No. 7

**PRINCIPALES CARACTERISTICAS SOCIECONOMICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI
USO DE SUELO**

ACTIVIDAD AGRICOLA (Km ²)				
RIEGO	TEMPORAL	RIEGO Y TEMPORAL	SUPERFICIE CUBIERTA	PORCENTAJE
13.8	12.2	64	90	24.39
FORESTAL (Km ²)				
OYAMEL	PINO	PINO-ENCINO	VEGETACION SECUNDARIA	
12	125.24	68.4	52	71.17
OTROS USOS (Km ²)				
EROSION HIDRICA	PRESA TAXHIMAY		SIN VEGETACION	
5	2.5		8.85	4.43
AREA		TOTAL	368.99	99.99

cultivos se intercalan con los de maíz. Otros productos con mínima siembra son los de cebolla, chícharo, chile y alfalfa. Existen algunos árboles frutales, entre ellos los de ciruelo y huertos de manzana y durazno, principalmente.

La producción agrícola se circunscribe principalmente al oeste de la presa Taxhimay; en el noroeste y suroeste de Villa del Carbón, San Martín Cachihuapan, los Dolores, el Gavilero y San Juan de las tablas.

En cuanto al uso de tecnología agrícola en la cuenca se tienen datos de que ahí, se combina el uso de tractores y animales para barbechar y arar el suelo, el 100% de los agricultores emplea abonos químicos y el 66.7% fertilizantes orgánicos.

Sólo el 22.2% de los productos agrícolas de la cuenca se destina a la venta y el 77.8% para el autoconsumo de sus habitantes (VII censo agrícola y ganadero, Estado de México e Hidalgo, 1994).

Respecto a los bosques, la especie que más se explota es la del encino, para la producción de madera, obteniéndose un volumen de 23240 m³; el pino sólo se utiliza localmente como productor de leña.

En lo concerniente al uso de suelo dedicado a la ganadería, este se

encuentra particularmente al suroeste de la cuenca, entre El Llano de Zacapexco y Monte de Peña, Llano Agua Nueva, la Piñuela y Loma el Mirador en el centroeste, igualmente en el noroeste de la región. Esta actividad sufre limitaciones por el predominio de áreas forestales en la zona y pendientes elevadas.

La producción ganadera más importante es la ovina con 13'569 cabezas en existencia, en segundo lugar le sigue la bovina con 8201 cabezas y la equina con 2508 cabezas. Sin embargo la actividad avícola es la más numerosa con 39505 cabezas.

El 66.71 de esta producción se destina a la venta y sólo el 33.3%, es para el autoconsumo.

7.2. El uso del agua en la cuenca

Dentro de una cuenca la variedad de usos y consumos del agua, dependerá de las condiciones climáticas y socioeconómicas. El área en estudio es de carácter rural ya que no cuenta con localidades de carácter urbano, debido a que sólo existen: una villa, siete barrios, cinco pueblos, siete ranchos, siete rancherías, una comunidad agrícola y una hacienda (Ramos, 1985).

El promedio de población es de 900 habitantes en los pueblos (cuadro no. 8), a excepción de las cabeceras municipales de Villa del Carbón y Chapa de Mota, en el límite noroeste de la cuenca, en éstos la población sobrepasa los 2000 habitantes, las rancherías cuentan con un promedio de 300 habitantes y los ranchos no sobrepasan los 140 habitantes.

En estas comunidades rurales el uso del agua se destina al riego agrícola la ganadería y utilización doméstica en general.

El recurso agua en la cuenca se obtiene de los escurrimientos superficiales y de los mantos subterráneos. Basados en esta riqueza natural y con el fin de aprovecharlos con eficiencia, se construyó el embalse de Taxhimay tanto para suplir el consumo de agua doméstico como para el riego agrícola.

El embalse de Taxhimay, en su porción sur queda establecido dentro del municipio de Villa del Carbón (Estado de México) y la porción noreste en el municipio de Tepeji del Rio Ocampo (Estado de Hidalgo). La presa se sitúa a 19°44'24" de latitud norte y 99°25'51" de longitud oeste. Su extensión es de 10.8 Km² y fue construida en 1934 (Archivo histórico del agua A.H.A.1952).

En la región existen algunos manantiales que son utilizados para el mismo propósito: el abastecimiento y el riego ellos son:

CUADRO No. 8

POBLACION DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI

No	MUNICIPIO Y LOCALIDAD	CATEGORIA	POBLACION TOTAL
1	Villa del Carbón	Villa	2050
2	Chapa de Mota	Villa	218
3	Anahuac	Pueblo	737
4	Los Arana	Ranchería	972
5	Los Barbechos	Rancho	270
6	La Cañada	Hacienda	307
7	La Capilla	Barrio	340
8	El Cerrito	Barrio	666
9	La Cruz y El Carrizal	Barrio	558
10	La Esperanza	Ranchería	215
11	Los González	Rancho	9
12	Llano de Zacapexco	Barrio	1354
13	Loma Alta	Ranchería	1758
14	Loma Alta Taxhimay	Ranchería	514
15	El Magueyal	Barrio	64
16	Monte de Peña	Ranchería	699
17	Las Moras	Rancho	277
18	El Ocotal	Rancho	533
19	Los Oratorios	Ranchería	160
20	Los Platitos	Barrio	77
21	Pueblo Nuevo	Pueblo	1282
22	San Isidro del Bosque	Ranchería	257
23	San Jerónimo Zacapexco	Pueblo	969
24	San Luis Taxhimay	Pueblo	680
25	San Martín Cachihuapan	Pueblo	805
26	San Salvador	Comunidad agrícola	313
27	Santa Catarina	Rancho	92
28	Santa María	Rancho	76
29	El Terreno	Rancho	8
30	Las Vigas	Rancho	207

Fuente : Ramos Galicia, 1984

Los manantiales del cerro de la Bufa, situados en las inmediaciones del cerro citado, se encuentran en la parte alta de la sierra de Monte Alto, aproximadamente a 30 Km al suroeste de Taxhimay, y el manantial de la Ciénega, situado a una altitud de 2137 m.s.n.m. en las inmediaciones del pueblo de Santa María Quelites, al suroeste de la cuenca.

7.3. La alteración del ciclo hidrológico

Las múltiples demandas de los recursos hídricos, requeridos por el hombre, ha contribuido a desestabilizar una parte del ciclo hidrológico de la cuenca. Los efectos negativos han ido aumentando con el paso de los años por la presión demográfica, la cual trae consigo el desmonte de bosque para satisfacer la necesidad de vivienda y el uso agrícola.

Estas dos grandes necesidades del hombre han incidido en forma determinante en el equilibrio natural. Al hablar del efecto de la urbanización, puede decirse que ésta posiblemente contribuye al aumento de la precipitación, por factores como la adición de núcleos de condensación, como consecuencia de la emisión de humo, mayor turbulencia en la atmósfera debido a la existencia de edificios, a efectos de transferencia térmica y a la presencia de vapor de agua adicional procedente del complejo urbano.

La urbanización significa menos infiltración y más escorrentía superficial, porque se sustituye la mayor parte de la cubierta ordinaria del terreno por superficies impermeables, como edificios y calles aunque este efecto no es muy marcado en la cuenca.

La presencia humana también influye en la calidad del agua debido a la eliminación de desechos urbanos e industriales, los cuales se vierten en los cauces, terminando a corto plazo, por contaminar a los suelos y al agua.

En cuanto a la agricultura, el principal problema se puede derivar del riego, ya que su mal uso origina salinidad o anegamiento. Es causado por riegos con agua de mala calidad y drenaje insuficiente de los suelos para eliminar las sales solubles.

Este problema en la cuenca se aborda teniendo en cuenta la clasificación por su capacidad de uso y aptitud para el riego. En la región hay siete clases de suelos cuyas características indican la conveniencia o inconveniencia del uso del riego.

La clase I y II ubicadas en el centro de Villa del Carbón, suroeste de La Discordia, norte de San Martín Cachichuapan, oeste de Loma Alta y noroeste de San Juan de las Tablas, tienen pocas o ninguna limitación que restrinja el uso de

riego, porque poseen escaso peligro de erosión, suelos profundos y generalmente bien drenados (Ramos, 1985). En cambio la clase III localizada en el norte y este de la zona, posee permeabilidad deficiente del subsuelo, persistencia a la humedad aún después de haber sido drenada, salinidad o sodicidad moderada. Debido a estas características se consideran tierras poco apropiadas para el riego, porque son propensas a la contaminación por salinidad o sodicidad y son precisamente estos suelos del norte, alrededor de la presa Taxhimay los que en la cuenca utilizan más el riego agrícola. Los de la clase IV se ubican en la rivera occidental de la presa Taxhimay, en donde se encuentran establecidas las localidades de San Luis Loma Alta y la Cruz Carrizal, también en el oeste en la localidad de la Cañada y este y oeste de Villa del Carbón, así mismo en el sureste de la zona (cuadro no. 9); estos suelos presentan limitaciones severas, como, humedad excesiva, drenaje deficiente, severa salinidad o sodicidad.

Las clases de suelos V, VI y VII, se localizan generalmente en el sur de la cuenca, sin embargo el de la clase VII es la más extensa porque se encuentra además en el noreste y centro de la cuenca debido a la característica montañosa de ésta.

Estas tres últimas clases de suelos, son los que mayores limitaciones poseen, por lo que su uso queda restringido sólo a pastos y bosques; ya que para fines agrícolas no tienen gran productividad. Y sí se insiste en el regadío para

CUADRO No 9**APTITUD DE USO Y RIEGO DEL SUELO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO TEPEJI**

1	2	3	4	5	6	7
I	98 %	< 15 %	C, E	LUVIOZOL + FEOZEM HAPLICO	USO AGRICOLA	MUY BUENO
II	98 %	< 15 %	C, E	LUVIOSOLES	USO AGRICOLA	BUENO
III	5 a 15 %	13%	N, E	FEOZEM, LUVIOSOL	USO AGRICOLA LIMITADO	REGULAR
IV	15 a 25 %	3 a 9 %	N, C, E	FEOZEM, LUVIOSOL	AGRICULTURA SEVERAMENTE LIMITADA	NO APTO
V	< 25 %	21%	S, SW, SE	ANDOSOL, LUVIOSOL	USO FORESTAL	NO APTO
VI	< 25 %	6%	SW, N, S, W	FEOZEM, LUVIOSOL, ANDOSOL	USO FORESTAL	NO APTO
VII	< 25 %	38%	CN, C Y S	FEOZEM, LUVIOSOL, ANDOSOL	USO FORESTAL	NO APTO

1 Clase de suelo

2 Pendiente del suelo en la cuenca

3 Porcentaje del área total de la cuenca

4 Localización del suelo

5 Unidad de suelo

6 Uso del suelo

7 Aptitud de riego

tratar de mejorarla terminarán por contaminarla con salinidad o anegamiento y posiblemente empobrecer el suelo de tal manera que sería difícil su recuperación a corto plazo.

Las técnicas agrícolas pueden ejercer efectos perjudiciales en la calidad del agua cuando se abusa o se utilizan en exceso insecticidas y herbicidas para mejorar el rendimiento de cultivos, eliminando toda clase de plagas con su uso pero también afectando la delicada cadena alimenticia, cuando son por lo general arrastrados por la lluvia y logran penetrar los sistemas de corrientes, interviniendo negativamente en la vida del curso de agua, debido a que estos venenos se caracterizan por un amplio límite de toxicidad y elevada persistencia.

En la zona muchas corrientes cercanas a las áreas agrícolas, se pueden ver afectada por el empleo en exceso de estos insecticidas y aún más la propia presa Taxhimay, la cual es el drenaje final de la parte alta de la cuenca, sin olvidar la cuenca baja quien también recibe parte del agua de la presa através de los vertedores del río Tenerías.

Se debe considerar de igual manera el elevado empleo de fertilizantes porque las cantidades residuales de nitrógeno y fósforo aplicados para el enriquecimiento del suelo pueden llegar, a través del avenamiento, hasta el sistema de canales donde causan el enriquecimiento en nutrientes y eutroficación

de los ríos o lagos.

Otra actividad relacionada con el campo, es el pastoreo; el exceso de esta práctica, puede conducir a una alteración hidrológica. Un efecto es la compactación de la superficie de los suelos, como consecuencia del apisonado de los pastos, producida por la concentración del ganado en una área única. Se genera con ello la disminución de la infiltración por lo que aumenta la escorrentía superficial y probabilidad de que se produzca una erosión superficial.

Teniendo en cuenta que los suelos dedicados a la producción ganadera se localizan, en el sur en su mayor parte y se encuentran dentro de las clases V, VI y VII con restricciones como pendientes pronunciadas, elevada susceptibilidad a la erosión hídrica o eólica, suelos someros con gran pedregosidad; y una zona de enraizamiento muy delgada, el manejo de esta práctica sino se hace con cuidado puede originar la pérdida total del suelo, producto de las características poco favorables de los suelos del sur de la cuenca.

En relación al pastoreo en espacios abiertos y los desechos generados por los animales, se dice, que no constituye en términos generales un contaminante, ya que el estiércol resulta beneficioso para el suelo, pero la concentración de animales en áreas de alimentación, antes de ser sacrificados, puede dar lugar a problemas bastante graves en cuanto a la calidad del agua, si

los desechos de estos lugares es descargada en corrientes o penetran rápidamente en el agua freática, situación común en los rastos.

Pero la más grave intervención del hombre para satisfacer sus necesidades, la constituye la tala indiscriminada. Sobre todo cuando se efectúa en terrenos con pendientes elevadas porque los suelos de estos lugares al carecer de protección vegetal, son erosionados y arrastrados hacia los cauces saturándolos de sedimentos, que finalmente contribuyen a la contaminación del agua al enturbiarla, inundación de tierras en la parte baja y al azolve de la presa de la región.

CAPITULO 8

8.0 . RESUMEN Y CONCLUSIONES

La cuenca alta del río Tepeji posee las siguientes características físicas generales:

Presenta forma alargada, con tendencia elipsoidal, con un eje mayor en dirección suroeste noreste y el menor en dirección sureste noroeste. Su área es de 369 km², con relieve montañoso y una pendiente media de 12° 11'12".

La litología, está compuesta por depósitos volcánicos heterogéneos, constituidos por andesitas, brechas volcánicas, areniscas-tobaceas, conglomerados y material residual y aluvial.

Edafológicamente predomina la unidad de feozem háplico, andosoles y luviosoles. Los vertisoles y litosoles, cubren solo una pequeña extensión. Estos suelos forman asociaciones entre sí.

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Dominan los procesos hídricos, la escorrentía difusa, fuerte y concentrada. La temperatura media es de 14.7°C y su precipitación de 1052,6 mm anuales.

La vegetación característica son los bosques de oyamel, pino, pino-encino, matorral subinerme, gramíneas y cultivos.

El drenaje tiene un control estructural casi en su totalidad, con rumbo noreste.

Considerando la interrelación de los anteriores aspectos físicos de la cuenca se concluye que:

El equilibrio natural de la cuenca ha sido alterado paulatinamente en los últimos años, debido principalmente, a la presión demográfica, ejercida para cubrir las necesidades de vivienda y alimentación, entre otras; aunque el comportamiento de cada uno de los componentes del ciclo hidrológico se consideran normales.

En el caso particular de la precipitación esta varía en función de la altitud; dadas las características montañosas de la zona; mientras en el sur y oeste a más

de 2900 m.s.n.m. se presenta una precipitación promedio de 1200 m.m en el norte de 2 300 m s.n.m. la precipitación promedio es de 780 m.m. Pero precisamente los declives altos (12° 11'19" pendiente media) y las condiciones de humedad imperantes, se convierten en un factor que propicia el aumento del escurrimiento, sobre todo en las regiones desprovistas de vegetación localizadas en el centro de la región, en donde la escorrentía y el escurrimiento incide considerablemente en el terreno, siendo frecuentes los derrumbes y deslizamientos.

En cambio la escorrentía difusa moderada coincide con el bosque conservado de las serranías de Monte Alto, Monte Bajo, Las Masas y Jilotepec, entre tanto en las laderas altas, cerca del piedemonte, existe vegetación boscosa semiperturbada y por lo tanto la presencia de escorrentía difusa fuerte.

Lo que indica que la conservación de la vegetación boscosa es imprescindible para controlar el régimen de los escurrimientos y un proceso de infiltración adecuada.

Los máximos coeficientes de infiltración se localizan en las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, al sureste del cerro de la Bufo, en este sector se encuentran numerosos acuíferos, originados por andesitas muy fracturadas. Estos manantiales sostienen el régimen hidrológico de los ríos durante los meses secos.

Los depósitos volcánicos, (areniscas-tobaceas) del resto de la cuenca poseen una infiltración menor, producto de las características de sus componentes, vidrios volcánicos y arcillas impermeables.

La evapotranspiración es el valor más alto, aunque dadas las condiciones de humedad de la zona se podría considerar dentro de la normalidad, aunque no se debe olvidar que el elevado nivel de evaporación puede ser originado, por los suelos agrícolas de temporal que no son utilizados todo el tiempo, permaneciendo desnudos la mayor parte del año, además de los suelos que han perdido la carpeta natural de vegetación en el centro este y norte de la cuenca; tampoco se descarta la presencia del embalse y por supuesto la de los bosques de las altas montañas de la región.

Este balance cualitativo, se apoyó en la expresión matemática del balance hídrico del que se obtuvieron los siguientes resultados.

P = precipitación

R = escurrimiento

$P = R + ET + I$

ET = evapotranspiración

I = infiltración

Millones	P	R	ET	I
de metros	388.41	67.86	244.3	76.25
cúbicos				
Porcentaje	100%	17.47	62.89	19.63

Los volúmenes de agua obtenidos de esta ecuación, confirman lo que se dijo anteriormente. El escurrimiento y la infiltración tienen valores cercanos entre sí, en tanto que la evapotranspiración posee el doble de valores de volúmenes de agua.

La intervención de los habitantes de la región aún no es grave, ni tiene consecuencias irreversibles: pero puede acelerarse debido al mal uso del suelo, cuyo potencial es eminentemente forestal, sin embargo han sido sobreexplotado, imperando siempre el monocultivo del maíz, reduciendo aún más la capacidad agrológica de estos suelos, caso concreto del pedimento de Villa del Carbón y los alrededores de la presa Taxhimay.

En cuanto a los suelos de la zona ganadera se ven bastante afectados por la falta de control sobre los pastos, permitiendo que el ganado pascie libre dando origen a la formación de terracillas, llamadas "pie de vaca", marcando la pauta

para la evolución de procesos erosivos más graves.

El bosque cada vez más, esta siendo confinado a los sitios más elevados y abruptos como lo es la cabecera de la cuenca al sur y suroeste de la región, porque se sobreexplota el que está en sitios accesibles tanto para leña, como para uso industrial.

A pesar de la escasa información disponible de la cuenca estudiada, sobre todos los datos de precipitación y temperatura de los últimos años, además de la carencia de estaciones meteorológicas e hidrométricas suficientes para verificar los fenómenos climáticos, se pudo obtener un conocimiento general del estado actual de la cuenca, apoyados en la interrelación de los elementos geomorfológicos, litológicos, edafológicos, morfométricos. Este conocimiento indica que el mayor grado de destrucción se produce por el uso inadecuado del suelo y la deforestación sin control, lo cual a su vez contribuye a acelerar los procesos morfoclimáticos naturales.

Este estudio, resultaría de mayor beneficio, para otras cuencas en la misma situación, al integrarse a un proyecto de investigación en el que participen las autoridades para realizar un buen manejo de la cuenca hidrográfica integrando a población que directamente vive la situación y debe por ello contribuir a la conservación de la misma.

Así como el hombre intervino en la naturaleza para su beneficio, desequilibrando la interrelación de sus elementos, también puede intervenir en ella positivamente, si se conocen los procesos naturales que gobiernan el comportamiento de la cuenca hidrográfica para obtener un manejo favorable de la misma.

Con base en lo antes expuesto puede anotarse que este estudio hidrogeográfico tuvo una predominancia de información geográfico física y en menor cantidad de aspectos geográfico sociales y económicos. La autora está conciente de que el límite de la cuenca, basado en características orográficas, es una división natural que no coincide con las divisiones políticas de los municipios que abarca. De lo anterior se derivan algunos problemas para el manejo de la información, sobre todo en lo referente a la coincidencia espacial. Por lo anterior se estima conveniente sugerir que sé efectuen varios estudios de carácter regional, éstos ya tendrán como base las características geográficas de la zona correspondiente a la cuenca. También se puede sugerir que se lleven a cabo estudios de tipo hidrogeográfico de las cuencas circunvecinas a la del río Tepeji, para que cubran de igual manera las superficies completas de los municipios aledaños. De este modo se podrá lograr un enfoque geográfico más completo para comprender la problemática de ésta parte del país y procurar sentar las bases para un mejor manejo de éstas cuencas.

RELACIÓN DE MATERIAL ANEXO

Lista de cartas elaboradas

1. Localización política de la Cuenca
2. Localización de la cuenca alta Pánuaco-río. Tuia.
3. Límites de la cuenca alta del Río Tepeji.
4. Carta base
5. Unidades básicas del relieve
6. Carta altimétrica
7. Carta de declives
8. Carta Litológica
9. Carta edafológica
10. Carta de uso de suelo
11. Carta fluvigráfica
12. Carta de la distribución geográfica de la frecuencia de cauces.
13. Carta de la distribución geográfica de la densidad de drenaje
14. Carta de climas.

Lista de cuadros numéricos

1. Datos altimétricos de la cuenca.
2. Parámetros de la cuenca.
3. Datos de los parámetros lineales.
4. Resumen de los datos climáticos.
5. Datos de volúmenes de escurrimiento medio mensual.
6. Datos de caudal medio mensual.
7. Principales características socioeconómicas.
8. Datos sobre la población de la cuenca.
9. Aptitud de uso y riego.

Lista de gráficas elaboradas

1. Histograma de frecuencia altimétricas.
2. Curva hipsográfica
3. Curva integral hipsométrica.
4. Relación de bifurcación.
5. Relación de longitud.
6. Precipitación y temperatura
7. Volúmenes de escurrimiento medio mensual (m^3 /seg)

8. Precipitación y escurrimiento.

9. Gastos medios mensuales de escurrimiento.

BIBLIOGRAFIA

APARICIO MIJARES, Francisco. I. (1989) Fundamentos de Hidrología Superficial
México: Limusa, Grupo Noriega.

Archivo Histórico del Agua (1952). Informe Geohidrológico para el abastecimiento de agua potable de San Luis Taxhimay, México: A.H.A.

BERHEMONT, J (1982). Geografía de la utilización de las aguas continentales,
España: OIKOS-TAU .

CAMPOS ARANDA. (1987). Procesos del ciclo Hidrológico (volumen 1 y 2)
editorial San Luis Potosi: Universidad Potosina.

CASTANY, G. (1971) Tratado práctico de las aguas subterráneas. España:
Omega.

CHOW, Ven te (1964) Handbook of Aplied Hydrology. New York: Mc Graw Hill,

COQUE, Róger. (1984) Geomorfología estructural. España: S.A.

DAVIS, S.N. y DE WIEST, R.S...M. (1971) Hidrogeología. Barcelona: Ariel.

FITZ, Patric. (1985) Suelos su formación, clasificación y Distribución. México:
Continental, S.A. de C.V.

GARCIA A. Enriqueta.(1981) Modificaciones al sistema de clasificación climática
de Koopen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).
México: Offset Larios

GARCÍA DE MIRANDA, Enriqueta. (1978). Apuntes de climatología. México:
Larios e hijos impresores.

HELWEG, Otto J. (1992) Recursos hidráulicos, planeación y administación.
México: Limusa, Grupo Noriega.

HOLE, D.F. BUOL, S.W. y MCRACKEN, R.I. (1983) Génesis y clasificación de
suelos. México: Trillas.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA (1994). VII Censo
Agrícola y ganadero, Estado de México e Hidalgo. México: I.N.E.G.I.

LEET L, Don y SHELDON, Judson. (1989). Fundamentos de Geología Física:México: Limusa.

LINSLEY, R. K. KOHLER, M.A. PAUL HUS, J.L.M. (1977). Hidrología para ingenieros. México: MC Graw Hill.

LOPEZ BLANCO. Jorge. (1987). Morfometría zonificada interna y su relación con el medio físico, cuenca del río Pitahayo-Arroyo Grande, Estado de Jalisco. Tesis de Maestría en Geografía, México: UNAM.

LÓPEZ BERMÚDEZ, José, RUBIO R., Manuel y CUADRAT, José (1992). Geografía física, Madrid: Catedral, S.A.

MARTINEZ LUNA, Victor M. (1982) Estudio comparativo de las cuencas de los ríos Tlaxcalilla y Arroyo Grande, Guanajuato. Tesis, de Maestría en Geografía, México: UNAM.

MADEREY RASCÓN, Laura E. (1977) El agua de escurrimiento en la República Mexicana. México: Instituto de Geografía, UNAM.

LUBO HUBP, José (1989). Diccionario Geomorfológico. México: Instituto de Geografía, UNAM.

MEZA SÁNCHEZ, Madgalena, (1976) Interpretación de los elementos climáticos en la evolución morfológica de la cuenca baja del río Tepeji, Hidalgo, Tesis de Licenciatura en Geografía, México: UNAM.

MILLAR, C.E. TURC, L.M. y FOTH, H.D. (1975). Fundamento de las ciencias del suelo. México: Continental; S.A.

MONKHOUSE, F.J. (1978). Diccionario de términos geográficos. Barcelona: OIKOS-TAU.

MORISAWA, M.E. (1985). Rivers. forms and proces, geomorphology. Text 7, Londres: Logman.

OROPEZA OROZCO, Oralia. (1976). Análisis de los procesos geomorfológicos en la cuenca alta del río Tepeji, Hidalgo. Tesis de licenciatura en Geografía, México: UNAM.

ORTIZ PÉREZ, Arturo. (1985) Geomorfología de la disección fluvial asimétrica en depósitos del piedemonte por cambio en el nivel de base (caso sierra de Monte Alto y Monte Bajo). Tesis de doctorado en Geografía, México: UNAM.

ORTIZ VILLANUEVA, B. y ORTIZ SOLORIO, A (1980). Edafología. México:

Universidad Autónoma de Chapingo.

PALACIO PRIETO, José L. (1980) El relieve el suelo y la vegetación, como factores que intervienen en la erosión hídrica superficial en la cuenca del Río Tizar. Tesis, de licenciatura en Geografía, México: UNAM.

RAMOS GALICIA, José. R. (1984). Estudio físico y de uso del suelo en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México. Tesis, de Maestría en Geografía, México: UNAM.

REMENIERAS, G. (1974). Tratado de Hidrología aplicada, Barcelona: Técnicos asociados.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS (1997). Gerencia de Aguas Superficiales e ingeniería de ríos. México: S.A.R.H.

STALLINGS, J.H. (1972). El suelo, su uso y mejoramiento. México: Continental, S.A.

SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS: (1973) Boletín Hidrológico No. 46. Tomo I, Región Hidrológica No. 26 (parcial), zona alto Pánuco, río Tula, México: S.R.H. pp: 102-01 a 102.20.

SPRINGALL, G. Rolando. (1969). Drenaje en cuencas pequeñas. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.

SPRINGALL G. Rolando. (1970) Hidrología (Primera parte) México: Instituto de Ingeniería, UNAM.

STRAHLER, Arthur N. (1974) Geografía Física. Barcelona: Omega.

UNESCO.- FAO. (1975) La influencia del hombre en el ciclo hidrológico. Proyecto del informe sobre el decenio hidrológico Internacional 1965-1975. París: FAO

WAGNER, O, Helmuth y LENE, (1987). Hans. El bosque y la conservación del suelo, su importancia social y económica. México: Porrúa.

WHITOW. B, John (1988) Diccionario de Geografía Física. Madrid: Alianza, S.A.

CARTOGRAFIA CONSULTADA

Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación general de los servicios generales de Estadística e Informática. Dirección General de Geografía del territorio Nacional.

- Carta de climas 14 QV México escala 1: 500 000.
- Carta de aguas superficiales. E- 14-2 Ciudad de México, escala 1: 250 000.
- Cartas topográficas, geológicas, edafológicas y de uso de suelo, escala 1: 50 000.

CLAVES

NOMBRES

E.14-A-18

Tepeji del Río

E.14-A-28

Villa del Carbón.