



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA
PARA REDUCIR EL CAUDAL DE ESCURRIMIENTO
EN EL RÍO YAUTEPEC Y EVITAR INUNDACIONES
EN LA ZONA CENTRO DE YAUTEPEC, MORELOS”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

ESTRADA MUÑOZ MARIO ALBERTO

DIRECTOR: ING. HÉCTOR L. MACÍAS GONZÁLEZ



CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO DE 2005

m. 341891



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Maria Muñoz Zamora por ser tan especial en mi vida y brindarme todo su apoyo, confianza y enseñanza que he recibido durante la carrera, así como a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos Gerardo Daniel, José Luis y Angélica, por su cariño, apoyo y por darme consejos.

A mi novia Claudia Noguez por su amor, cariño, apoyo y ser parte de mi vida

A mis cuñadas Nancy y Ángeles por ser parte de mi familia.

A mi Abuelita Josefita y mi tía Rosita Muñoz por su cariño.

A mis amigos Amelia Castro, Claudia Hernández, Lupita Alvarado, Sandra Nava, Lucy Jácome, Diana Tapia, Nora Santillán, Jessica Hernández, Perla, Nancy Gómez, Irasema Saray, Tahí, Omar González, Valentín Ortega, Juan Carbajal, Alexis Aguilar, Gerardo Ochoa, Dante Granados, Francisco Ponce, Luis Bautista, Gonzalo Condado, Héctor Cabadas, Isaías Eslava, Raya Ramiro, Gustavo Sánchez, Francisco, por su amistad.

Al ingeniero Héctor Luis Macías González por todos los conocimientos adquiridos y por su dedicación y tiempo en la dirección de esta tesis.

A los ingenieros Miguel Vera, Emiliano Campos, Alberto Arias, Martín Vidal, por los comentarios realizados para este trabajo.

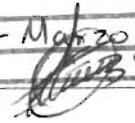
A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme desarrollarme profesionalmente.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Mario Alberto Estrada

Muñoz

FECHA: 10 - Marzo - 2005

FIRMA: 



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-100

SR. MARIO ALBERTO ESTRADA MUÑOZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA PARA REDUCIR EL CAUDAL DE ESCURRIMIENTO EN EL RIO YAUTEPEC Y EVITAR INUNDACIONES EN LA ZONA CENTRO DE YAUTEPEC, MORELOS

- I INTRODUCCIÓN**
- II GEOGRAFÍA**
- III GEOLOGÍA**
- IV HIDROLOGÍA**
- V HIDROGEOLOGÍA**
- VI OBRAS CIVILES PARA ENCAUZAR Y REPRESAR CAUDALES DE ESCURRIMIENTO**
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 7 de febrero de 2005
EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/VAGC*gtg

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Objetivo general.	2
1.2.1 Objetivos particulares.	2
1.3 Trabajos previos.	3
CAPITULO 2. GEOGRAFÍA.	4
2.1 Localización del área de estudio.	4
2.2 Vías de comunicación.	4
2.3 Población y actividades económicas.	4
2.4 Clima.	6
2.5 Agricultura y vegetación.	7
2.6 Fisiografía.	7
2.6.1 Geomorfología.	9
CAPITULO 3. GEOLOGÍA.	10
3.1 Geología regional.	10
3.2 Estratigrafía.	11
3.3 Geología estructural.	17
3.4 Geología histórica.	18
CAPITULO 4. HIDROLOGÍA.	20
4.1 Localización de la región hidrológica y subcuenca de Yautepec.	20
4.2 Eventos meteorológicos.	22
4.2.1 El Niño y La Niña.	22
4.2.2 El fenómeno El Niño en México.	28
4.3 Estaciones climatológicas del área.	31
4.4 Precipitación.	33
4.5 Datos faltantes.	37
4.6 Relación lluvia escurrimiento.	39
4.6.1 Cálculo del coeficiente de escurrimiento.	39
4.7 Evaporación.	47
4.8 Infiltración.	47
4.8.1 Descripción del proceso de infiltración.	48
CAPITULO 5. HIDROGEOLOGÍA.	49
5.1 Acuíferos.	49
5.2 Comportamiento hidrogeológico.	49

5.3	Unidades hidrogeológicas.	50
5.4	Niveles de agua subterránea.	54
CAPITULO 6. OBRAS CIVILES PARA ENCAUZAR Y REPRESAR CAUDALES DE ESCURRIMIENTO.		56
6.1	Antecedentes.	56
6.2	Río Yautepéc.	57
6.3	Barranca Apanquetzalco.	60
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		64
BIBLIOGRAFÍA.		67

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES.

El actual cambio climático que se vive en todo el mundo, se refleja con mayor magnitud, entre otros en el aumento en la cantidad de lluvia estacional, no sólo donde llovía con regularidad si no en lugares que antes no llovía, lo que representa problemas de inundaciones, grandes avenidas de agua en tiempos muy cortos, contaminación de mantos acuíferos, daños de infraestructura en las comunidades y arrastre de sedimentos hacia zonas bajas.

El presente trabajo aborda una problemática real que existe en la localidad de Yautepec, estado de Morelos. En la últimas décadas, en especial en los últimos años, sufre grandes inundaciones, provocadas por el aumento drástico de lluvia, ocasionados por problemas geológicos y topográficos de la zona, ya que al estar en una planicie baja, en donde los escurrimientos de la Sierra de Chichinaultzin y partes altas, influyen de una manera importante hacia los afluentes del río Yautepec, donde los escurrimientos aumentan los caudales del río, de manera importante en la épocas de lluvia, dando como resultado inundaciones en la parte del centro de Yautepec y cercanas, siendo la parte central, donde sufren mayores pérdidas materiales. El 25 de agosto de 1985, así en el mes de septiembre de 1998 y 2003, las inundaciones han registrado niveles de 1.60 m y 1.95 m en la zona comercial del centro de Yautepec, cabe mencionar que el río Yautepec pasa a 200 m metros del sitio referido en donde hay varias placas de referencia de los niveles de inundación anteriores, como lo indica la siguiente figura.



Fig. Placas de inundación

En relación a lo anterior el Ayuntamiento de Yautepec Morelos, solicitó a la Facultad de Ingeniería, apoyo con fines académicos para ayudar a evaluar y contribuir a resolver los problemas con aplicaciones geológicas, en especial con Geohidrología, ya que por las características de la zona, es una de las ramas que puede ayudar a minimizar las grandes cantidades de escurrimiento por las de almacenamiento, lo que propiciaría la disminución de los caudales de escurrimientos y el aumento en la recarga del acuífero.

Las condiciones geológicas y topográficas, son los factores que ocasionan un flujo constante hacia las partes más bajas. En el aspecto topográfico, los escurrimientos de las partes altas, convergen en el río Yautepec al que se incorporan dos afluentes de importante consideración provenientes aguas arriba de Tepoztlán y Oacalco y se alojan en la barranca Apanquetzalco y barranca Chica. Los afluentes convergen dentro de los límites del poblado de Yautepec, en su parte más baja y sin pendiente.

Las condiciones geológicas, que impiden un libre flujo, son coladas de lava impermeable en la margen derecha e izquierda del río, en particular las que se encuentran desde el centro de Yautepec a lo largo de varios kilómetros hacia el poblado de Ticumán, afloran basaltos muy consolidados, masivos, y de espesores considerables que no permiten el libre flujo del río.

1.2.- OBJETIVO GENERAL.

Disminuir el caudal de escurrimiento superficial del río Yautepec, mediante infiltración de estructuras geológicas permeables y/o por obras de ingeniería para encauzamiento de caudales.

1.2.1 OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Calcular la precipitación pluvial en la subcuenca del río Yautepec, región hidrológica número 18, cuenca del río Balsas.
2. Calcular el coeficiente de escurrimiento.
3. Hacer un análisis del aumento de lluvias en las últimas décadas.
4. Localización de estructuras geológicas favorables para la infiltración de agua de lluvia.
5. Proponer obras de ingeniería para el encauzamiento de caudales.

1.3.- TRABAJOS PREVIOS.

En la zona de estudio existen diversos trabajos de investigación de las localidades de Yautepec, Oacalco y Cuautla, los cuales permiten conocer algunas características importantes de la región

En 1981 fue elaborado el “Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Cuautla-Yautepec, Morelos” por la empresa ROASA, para la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el cual da a conocer las condiciones hidrológicas y geohidrológicas de aquellas épocas.

La empresa CESI en 1989 realizó para la Comisión Nacional del Agua la evaluación de la cantidad de extracción para agua subterránea, así como la propuesta de lugares nuevos para la perforación de pozos.

El último trabajo realizado para la Comisión Nacional del Agua, en la zona, fue hecho por la compañía INRA, S.A. “Estudio Geohidrológico de la Zona Cuautla-Yautepec, Morelos”. El cual aborda características de hidrología subterránea, la calidad de agua subterránea y manejo de los acuíferos para recomendar las áreas de extracción. Cuenta con información geofísica, como es el método geoelectrico de resistividad, el cual permite determinar la estratigrafía presente en el subsuelo, posición del nivel freático y algunas propiedades físicas como presencia de arcillas y fracturamiento.

2.- GEOGRAFÍA

2.1.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El municipio Yautepec está localizado entre los paralelos 18° 52' y 18° 55', Latitud Norte y entre los meridianos 99° 02' y 99° 05' Longitud Oeste (Fig. II.1).

La zona se encuentra en la porción norcentral del estado de Morelos, con una extensión superficial del área de estudio de 1035.53 Km² para precipitación la pluvial. Limita al norte con Tepoztlán; al sur con los poblados de Ticumán y Jojutla; al oeste con la ciudad de Cuernavaca; al suroeste con el poblado de Jiutepec y al este con Oaxtepec y Cocoyoc.

2.2.- VIAS DE COMUNICACIÓN.

Se comunica con la ciudad de Cuernavaca al oeste y con la población de Cuautla al este, con números de carreteras 142 y 160, de dos y cuatro carriles, así mismo con la autopista número 115 México-Cuautla. Se encuentra a 45 minutos de la ciudad de México por la autopista México-Cuautla.

2.3.- POBLACIÓN Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

Las actividades económicas en la zona surgen principalmente de la industria de la transformación, en segundo lugar la producción agrícola y ganadera, en tercer lugar el turismo.

La industria del turismo ha crecido anualmente debido a la proximidad con la ciudad de México, por su clima agradable y atractivos naturales cercanos como Tepoztlán, algunos balnearios y lugares históricos como son Cuernavaca y Cuautla.

La población urbana en la región es más numerosa que la rural, debido a la disminución de actividades del sector primario.

2.4.- CLIMA

El clima de acuerdo con INEGI (2000), para el área de estudio en zonas bajas del río Yautepec es el cálido A(w); hacia el norte de Yautepec se encuentra una franja que va de este a oeste y presenta el clima del tipo semicálido ACw. El clima templado o mesotérmico C(w) se distribuye en la zona septentrional, en la zona de transición y se localiza en las partes altas de los valles de Cuautla y Cuernavaca. Los climas semifríos C(E)(m) y C(E)(w), se presentan en el extremo septentrional, concentrándose en las partes más altas de la sierra, como son la cordillera Neovolcánica.

La precipitación pluvial media anual se encuentra en un intervalo de 800 a 1600 mm, con un valor promedio de 975 mm. La mayor precipitación se concentra hacia las zonas altas, localizadas en las sierras de Zempoala, Chichinautzin y Nevada Popocatepetl. En los valles, la precipitación pluvial se encuentra entre 850 y 950 mm anuales.

Los climas semicálidos tienen una temperatura media anual que fluctúa entre 18° y 22°C, presentan tres variantes que se diferencian en grado de humedad, de ellas la más importante el clima semicálido subhúmedo, que presenta lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 mm. El clima mesotérmico se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 12° y 18°C. Los climas semifríos se caracterizan por tener una temperatura media anual menor de 16°C; está asociado a comunidades vegetativas como bosques y praderas de alta montaña Fig. II.2

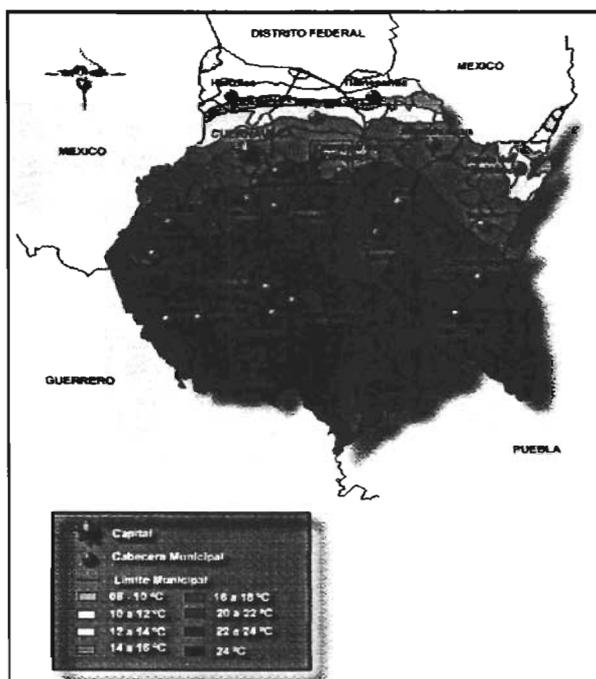


Fig. II.2 Clima (INEGI, 2000).

2.5.- AGRICULTURA Y VEGETACIÓN.

En la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac la vegetación no es muy diversa, ya que gran parte del área está ocupada actualmente por agricultura, predomina el bosque de encino (encino, ocotillo) que se encuentra a 2,387 m.s.n.m. de altitud promedio.

El pastizal inducido, que es también abundante en la zona, crece a una altitud promedio de 1,750 m.s.n.m. El último tipo de vegetación presente en la subprovincia es la selva baja caducifolia.

En la zona de Yautepec, la agricultura se desarrolla por cultivos de caña de azúcar, maíz, papa, agave, mango y ciruelo.

2.6.- FISIOGRAFÍA.

La zona de estudio se ubica dentro de dos provincias fisiográficas del país: la provincia de la “Sierra Madre del Sur” y la provincia del “Eje Neovolcánico” INEGI (2000). (Figura II.3).

La provincia de la Sierra Madre del Sur, que abarca el estado de Guerrero y parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Oaxaca y Veracruz, es considerada como la más compleja y menos conocida del país.

La Sierra Madre del Sur presenta rasgos en una topografía característica, atribuible a las deformaciones tectónicas que afectan a los sedimentos marinos, las cuales conforman sierras alargadas, que delimitan depresiones de topografía plana, en donde las sierras corresponden a pliegues anticlinales y los valles a sinclinales sepultados por depósitos del terciario continental y del cuaternario. Las sierras calcáreas cretácicas tienen dirección norte-sur con elevaciones máximas de 2000 metros sobre el nivel medio del mar (m.s.n.m), se presentan lomeríos con colinas redondeadas, además laderas abruptas y cañadas profundas, como en el cañón de Lobos, el cual está ubicado entre la ciudad de Cuernavaca y el poblado de Yautepec. Al oeste de Yautepec, queda comprendida el área que corresponde a la subprovincia de Sierras y Valles Guerrerenses (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981).

La provincia del Eje Neovolcánico abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Puebla, Veracruz y todo el estado de Tlaxcala. Se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de varios tipos acumulada en innumerables episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario y continúan hasta el presente, estos atraviesan el territorio nacional en la Latitud aproximada de 19° norte.

Al norte y este de Yautepec, se tienen áreas que corresponden a la subprovincia del Eje Neovolcánico llamada Lagos y Volcanes de Anáhuac (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981). Esta subprovincia está constituida propiamente por la gran sierra volcánica del Ajusco, que va al límite meridional de la Sierra de las Cruces (Estado de México-D.F.), extendiéndose al oriente hasta las proximidades del volcán Popocatepetl. Un rasgo de la zona es el de la sierra de laderas escarpadas del Tepozteco, formado por la intensa erosión de material de lahar. Otra unidad de gran importancia es el gran llano con lomeríos a 1250 m.s.n.m. que se extiende desde Yautepec hasta Axochiapan.

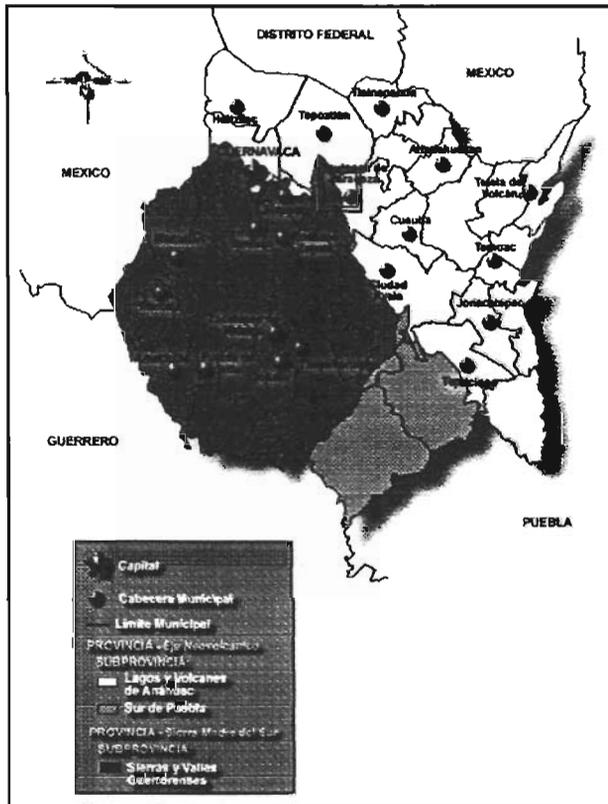


Fig. II.3 Fisiografía (INEGI, 2000).

2.6.1.- GEOMORFOLOGÍA

El estado de Morelos, está limitado al norte por la porción sur de la Sierra del Chichinautzin con una altura promedio de 3690 m.s.n.m., desciende hasta los 1200 m.s.n.m. Sobre una distancia aproximada de 65 Km, en el desnivel de 2490 m desarrolla una expresión geomorfológica de gran contraste, lo que da lugar a valles y lomeríos ondulados.

La zona de estudio, se caracteriza por marcados contrastes de elevación, por una parte la Sierra del Chichinautzin, el Tepozteco y la sierra de calizas, que se encuentran rodeando al poblado de Yautepec, por otra parte se tienen planicies y colinas onduladas de 900 msnm., donde drenan sinuosos y extensos afluentes del río Yautepec, los cuales fluyen en dirección preferente de norte a sur.

Se presenta un relieve de origen volcánico en la porción norte de Tepoztlán la cual se inclina hacia su vertiente sur, con un sistema hidrográfico de tipo radial, aunque presenta una red hidrográfica del tipo subparalelo a mayor escala.

En la Sierra Madre del Sur predominan una serie de pliegues asimétricos, alargados, con ejes orientados noroeste- sureste. Se observan deformaciones tectónicas enmascarando depresiones de valles angostos con topografía plana.

3.- GEOLOGÍA

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio comprende dos provincias geológicas de acuerdo con López Ramos (1979), la provincia del Eje Neovolcánico (Cinturón Volcánico Mexicano), y de la Plataforma Guerrero-Morelos, los cuales coinciden para el centro de México (Moran, 1984).

El Eje Neovolcánico constituye una franja volcánica del Cenozoico Superior que cruza transversalmente el territorio nacional a la altura del paralelo 20. Esta formado por diferentes estructuras volcánicas como son: estratovolcanes como el Popocatepetl, el Iztaccihuatl, el Nevado de Toluca, Pico de Orizaba y el Nevado de Colima; todos ellos fueron edificados por emisiones alternantes de productos piroclásticos y derrames lávicos. Existen, por otra parte, algunas calderas, tanto de colapso como de explosión; ejemplos de las más grandes son las de La Primavera y Los Húmeros. También existen conos cineríticos, domos, volcanes lávicos, cuellos volcánicos, entre otros.

Se considera que el Eje Neovolcánico constituye un grupo de 5 focos principales de actividad con orientación y características distintivas (Demant, 1978). Dentro de estos cinco focos principales existen dos tipos de estructuras volcánicas, éstas son aquellas representadas por grandes estratovolcanes en alineaciones de orientación norte-sur, y las que están representadas por numerosos volcanes pequeños alineados en sentido noroeste-suroeste, desarrollados sobre fracturas de tensión.

Las primeras manifestaciones volcánicas en el área del valle de México fueron en el Oligoceno Superior. Los últimos episodios volcánicos del Pleistoceno y el Cuaternario, parecen estar relacionados con sistemas de fracturas similares a los del Oligoceno, como es el caso de la Sierra del Chichinautzin (Mooser et al., 1974). En la porción central del eje se han reconocido siete fases de volcanismo, la más importante de ellas es la quinta, ocurrida a fines del Mioceno y que dio origen a las sierras de Las Cruces, de Río Frio y Nevada. Durante la sexta fase se desarrollaron los conos y domos del Iztaccihuatl y el cono activo del Popocatepetl. La última fase al igual que la anterior se desarrolló en el Cuaternario y es responsable de la actividad volcánica que interrumpió el drenaje de la cuenca de México hacia la cuenca del Río Balsas, lo que originó un carácter endorreico (Mooser et al. op.cit.).

La composición petrográfica de las rocas que conforman el Eje Neovolcánico son Los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica aunque existen numerosas unidades dacíticas. Desde un punto de vista químico es considerado por numerosos autores como una provincia calco-alcalina, caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas.

En el área de la plataforma Guerrero Morelos, se desarrollaron importantes depósitos marinos mesozoicos, se encuentra localizada en la mayor parte del estado de Morelos y en el noreste del estado de Guerrero y sureste del estado de México. La secuencia sedimentaria

marina se encuentra en un intervalo cronoestratigráfico que varía desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. La secuencia descansa sobre un basamento metamórfico precámbrico, representado aparentemente por el Esquisto Taxco (Fries, 1960); De Cserna, et al., 1975).

El basamento propuesto del precámbrico (Fries, 1960), llamado esquisto Taxco, subyace a andesitas poco metamorfizadas denominadas Roca Verde-Taxco Viejo (Fries, op. Cit.). Sin embargo, por semejanza Campa (1978), atribuye las rocas del Esquisto Taxco a las rocas volcánico-sedimentarias del Cretácico Inferior.

Las unidades sedimentarias de esta región se encuentran cubiertas discordantemente por depósitos continentales cenozoicos y rocas volcánicas del Eje Neovolcánico.

Al término del Turoniano hay un cambio en la sedimentación como resultado del levantamiento de las zonas sedimentarias ubicadas en la región occidental de esta porción de México.

Al término del Cretácico e inicio del Terciario ocurrieron deformaciones compresionales que dieron como resultado la formación de un sistema de pliegues anticlinales y sinclinales.

Durante el Eoceno-Oligoceno ocurrió un intenso fallamiento normal, acompañado de sedimentación clástica continental sobre las partes bajas de la nueva topografía.

El depósito de materiales conglomeráticos fue contemporáneo de algunos derrames lávicos de basalto, lo que dio origen al Grupo Balsas (Fries, 1960). Estos depósitos fueron seguidos por depósitos volcanoclásticos y volcánicos de la Formación Tepoztlán.

3.2.- ESTATIGRAFÍA

Con las definiciones estratigráficas de distintos autores (Fries, CNA, EGCY), se tomaron para integrar la columna correspondiente de la cuenca de Morelos.

Rocas sedimentarias e ígneas afloran en la zona de Yautepec, cuyas edades varían del Cretácico Inferior hasta el Reciente, aunque hay formaciones que no afloran posiblemente porque se encuentren sepultadas por el Grupo Chichinautzin y efectos de erosión. A continuación se describen la secuencia estratigráfica (Figuras. III.1 y III.2).

Formación Morelos (Kim)

Se observan en la porción oeste y este del área de estudio, en la sierra que divide las subcuencas de Cuernavaca y de Yautepec.

La Formación Morelos consta predominantemente de una sucesión de capas calizas y dolomita, con cantidades variables de pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y fragmentos de fósiles silicificados. La parte más antigua de la formación está conformada

por un miembro de anhidrita en la parte oriental de la región, pero el resto, de las capas basales consisten en carbonatos de edad un poco más joven. (Fries, 1960).

Constan de una secuencia de dolomías de color gris a gris oscuro, de olor fétido, con porosidad primaria baja y secundaria, regulada por fracturamiento. Se encuentran estratificadas en capas de 15, 30, y 40cm de espesor; mientras que las facies de plataforma presentan una presencia de rocas carbonatadas en capas de 20 cm hasta 1m de espesor, con inclusiones de dolomitas de color gris a gris oscuro con capas de 10 a 15 cm. El espesor de esta formación se ha determinado y varía entre 450 y 900 m, en diversas secciones medidas en el estado de Morelos.

Formación Cuautla (Ksc)

Aflorando en las áreas de Cuautla-Yautepec y sobreyaciendo a la Formación Morelos, se tiene una secuencia en contacto transicional, conformada por calizas densas en capas medianas a gruesas de tipo banco calcáreo, de color gris claro a oscuro y con menor frecuencia, negro; las capas clásticas cercanas al contacto inferior tienen localmente color rojizo o amarillo. Nódulos, lentes y masas regulares de pedernal abundan en muchas capas y sobre los planos de estratificación, afloran al poniente de la ciudad de Cuautla.

La Formación registra capas de delgadas a medianas, con rumbo norte sur e inclinación de 10° hacia el este para pasar a una caliza clástica en capas medianas a delgadas.

La secuencia es de forma gradual y con variación lateral. En ocasiones, la base de la Formación está constituida por conglomerados calcáreos, cuyos espesores varían desde 1 hasta 10 m. El espesor en promedio es 750 m.

Grupo Balsas (Teob)

Los depósitos terciarios que descansan encima de las rocas cretácicas, consisten de un grupo de sedimentos clásticos, volcánicos y lacustres, no marinos, que se denomina Grupo Balsas. Se le ha designado como Grupo, ya que las unidades que lo conforman tienen litología muy variable, la cual podría constituirse por sí misma, como unidad con características propias.

Se encuentra constituido por conglomerados y materiales piroclásticos, algunas lavas andesíticas y basálticas, así como delgados estratos de caliza lacustre; estas características litológicas dividen el grupo en dos unidades: la primera es un conglomerado calcáreo formado por fragmentos de caliza, pedernal, dolomías y arcilla; su coloración varía de rojiza a amarillenta, con litología muy similar a la Formación Cuernavaca.

El segundo tipo es de menor tamaño y se trata de capas de yeso con impurezas de sílice, con coloración de gris claro a amarillento. Aflora en el occidente de Oaxtepec, con una distribución variable, rellenando generalmente zonas topográficamente bajas. (CNA, EGCY, 1996)

Un tipo de roca del Grupo Balsas, de volumen relativamente pequeño, consiste en un yeso de distintos grados de pureza; esta roca forma cuerpos lenticulares compuestos por una

serie de capas delgadas que se interdigitan ó están contenidos en el tipo litológico clástico ligeramente endurecido y de grano fino. Uno de estos cuerpos lenticulares queda limitado al oriente por afloramientos entre Cocoyoc y Oaxtepec (Fries, 1960).

Formación Tepoztlán (Tmt)

Los afloramientos de la Formación Tepoztlán se encuentran en la porción noroccidental de la zona, concretamente en los alrededores del poblado Tepoztlán, ubicado al norponiente de Yautepec. Cubre con discordancia erosional tanto al Grupo Balsas como alguna unidad cretácica.

Constituye el cerro de El Sombrerito, al sureste de Tlayacapan, en las porciones norte y sur del poblado de Tepoztlán; a 6 Km. al este de dicha población aparece cubierta localmente, por derrames basálticos de la Formación Chichinautzin.

Se encuentra constituida predominantemente por clásticos volcánicos andesíticos depositados en capas que varían en espesor quizás de 50 cm hasta más de 10 m. La topografía desarrollada en la Formación difiere algo de la que caracteriza la mayoría de las rocas volcánicas de la región, ya que están mejor desarrollados los acantilados escalonados. Por lo que los afloramientos exhiben la topografía más accidentada y acantilada que se observa en la región.

Los componentes que forman las capas constan de fragmentos tobáceos y clásticos que varían de tamaño desde la arcilla fina hasta bloques de 1 m de diámetro. Algunas capas tienen sus componentes muy mal clasificados (inequigranulares) y pueden representar corrientes de lodo o "lahares", pero otras contienen lentes de arena y grava mucho mejor clasificadas con estratificación cruzada, atestiguando un depósito por corrientes de agua. Gran parte del material es friable y poco endurecida, aunque en algunos lugares se presentan capas bien cementadas.

El espesor original completo de la Formación no ha sido registrado en ninguna parte de la región, debido a la erosión posterior. El espesor máximo de lo que resta, medido desde la base de la unidad cerca de Oacalco, hasta el afloramiento más alto al norte de este lugar, es aproximadamente de 1000 m.

La Formación Tepoztlán obviamente fue depositada con gran discordancia angular y erosional encima de las unidades cretácicas. La relación entre ella y el Grupo Balsas no es tan clara, sin embargo y aunque el último seguramente estuvo expuesto a la erosión antes de que se depositaran las rocas de la Formación Tepoztlán, no se pudo comprobar la existencia de una discordancia angular en el contacto. (Fries, 1960)

En la localidad Oacalco la Formación Tepoztlán aparente sobre las capas de limo rojizo con interstratos de yeso y algo de caliza lacustre, todo perteneciente al Grupo Balsas.

Formación Cuernavaca. (Tpc)

La Formación Cuernavaca, toma su nombre de los depósitos clásticos transportados por aguas meteóricas, sobre los que se construyó la ciudad de Cuernavaca. La unidad aflora principalmente en la cuenca hidrológica del río Amacuzac y de sus afluentes. El borde septentrional de su área de afloramiento se extiende casi directamente al oriente desde la base austral del Nevado de Toluca, situado de 50 a 60 Km, al poniente de Cuernavaca, hasta el volcán Popocatepetl situado unos 25 Km al oriente-noriente de Cuautla, donde entra en el estado de Puebla, (Fries, 1960).

La litología de la Formación Cuernavaca es muy compleja y variada, comprende materiales diversos tales como: cenizas, brechas, y depósitos fluviales; travertino, margas, y paleosuelos que constituyen rellenos antiguos del valle de Yautepec e incluso depósitos de yeso, así como materiales propios de abanicos aluviales.

La parte septentrional y topográficamente más alta de la unidad está constituida predominantemente por conglomerados, cuyos constituyentes principales son fragmentos de rocas andesíticas; mientras que hacia las zonas bajas las capas de conglomerados se asocian con materiales finos, arenas y limos. (CNA, EGCY 1996).

En la zona, la unidad se constituye de yesos, travertino, cantos rodados, guijarros, empacados en una matriz arcillosa. Los fragmentos son de andesita porfídica de color gris claro; su estratificación es irregular y discontinua, aunque en algunos lugares se observa buena estratificación horizontal.

Al sur de Tlatizapán se encuentran depósitos de yeso con diferentes grados de pureza; al sur de Temilpa se observan afloramientos de travertino, originado por manantiales que existen en esa región.

La Formación Cuernavaca descansa sobre la mayoría de las formaciones antes descritas en forma discordante; mientras que las rocas que la cubren son de la Formación Chichinautzin. (CNA, EGCY 1996)

Grupo Chichinautzin (Qch)

El nombre del Grupo Chichinautzin proviene del alto cerro de este nombre, volcán basáltico del Pleistoceno tardío o del Reciente situado al límite entre el estado de Morelos y el Distrito Federal. Se propone a este grupo para comprender todas las corrientes lávicas, estratos de toba y brecha y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica. Descansan en discordancia encima de la Formación Cuernavaca o de unidades más antiguas. Corrientes lávicas se extienden en lengüetas irregulares hacia el sur, hasta la confluencia del río Amacuzac (Fries 1956).

En la parte nororiental, el basalto llegó casi hasta Cuautla. En la parte septentrional de la zona descendió a través de valles erosionados en la Formación Tepoztlán y prosiguió aguas abajo por el valle del río Yautepec. La lengüeta más larga se extiende aguas abajo del valle

situado entre Tepoztlán y Cuernavaca hasta Jojutla, donde continua debajo de una cubierta aluvial reciente, aguas abajo del valle del río Yautepec hasta su confluencia con el río Amacuzac, y de allí debajo de este último, en forma de una lengüeta de unos cuantos cientos de metros de ancho, hasta su afluencia con el río Chinameca donde termina.

El Grupo Chichinautzin muestra una topografía distintiva dondequiera que se presente. Se caracteriza por su juventud extrema y poca erosión. La interrupción del desagüe, con la acumulación aluvial resultante es otro rasgo característico alrededor de las corrientes lávicas. Las corrientes superficiales son irregulares y muchas hondonadas no desaguadas, que pueden asemejarse las pequeñas dolinas que se forman en terreno calizo casi plano. (Fries 1960).

La litología de este grupo es conformada principalmente de basaltos de olivino, con menor abundancia de basaltos de idingsita, hiperstena y enstatita. Su espesor alcanza aproximadamente los 1500 m. (CNA, EGCY 1996).

Aluvión (Cuaternario-Holoceno) (Qc)

El aluvión del Cuaternario-Holoceno consiste en clastos de textura arenosa, de granulometría media a gruesa y en menor proporción, gravas que provienen de las rocas aledañas. Localmente, se encuentran intercaladas con arcillas, lo que confiere confinamiento al acuífero de interés. Cubren casi toda la porción baja del área, con espesores de unos cuantos metros.

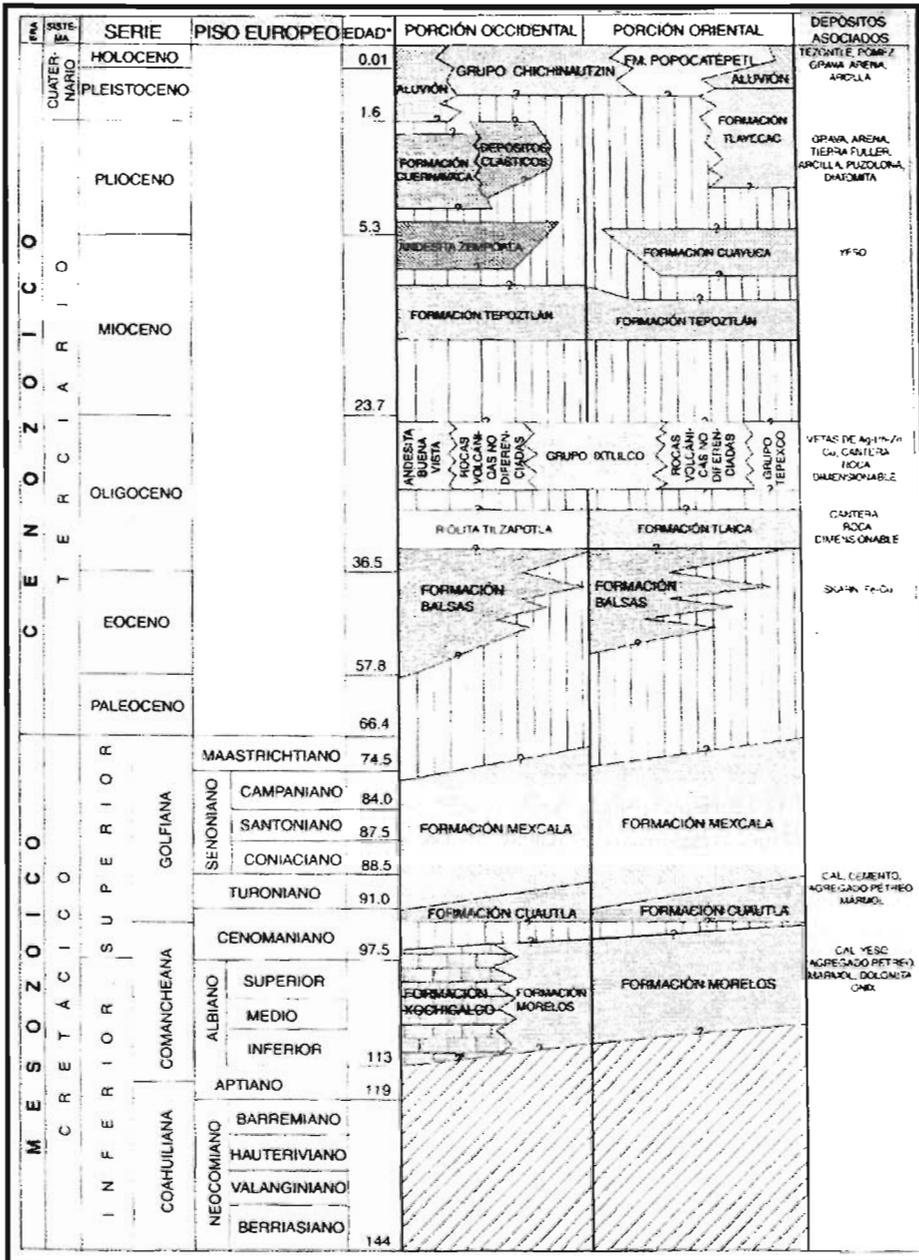


Fig. III.1 Columna Estratigráfica (COREMI, 2000).

de Yautepec a 3.5 Km se observa un anticlinal recostado de unos 10 Km de longitud. Una superficie importante de estas estructuras está cubierta por las Formaciones Balsas y Chichinautzin. (Coremi, 2000).

La mayor parte de las estructuras muestran un rumbo preferencial norte-sur, con mayor amplitud hacia el noreste de la zona y como se apuntó antes quedan sepultadas por debajo del material volcánico del cerro del Tepozteco.

El alto grado de plegamientos de la secuencia sedimentaria generó en distancias cortas, cambios estructurales en su estratificación, presentando valores de echado desde 25 hasta 50 grados.

La unidad superior consta, principalmente, de rocas ígneas terciarias y cuaternarias; las primeras consisten en su mayoría de sus casos de productos volcánicos como la Formación Tepoztlán, la cual se encuentra cubierta por un enorme paquete de lavas de la Formación Chichinautzin.

Estructuralmente, las rocas volcánicas fueron en su mayor parte controlada por esfuerzos tensionales, dando lugar a que algunas partes presenten fracturamiento con orientación norte-sur en partes altas y en cañadas.

3.4.- GEOLOGÍA HISTÓRICA

El basamento que se originó en la segunda mitad del paleozoico correspondiente al Esquistos Taxco, sobre el cual se depositaron las secuencias mesozoicas al reciente, no se encuentra aflorando en la zona, los sedimentos correspondientes a la Roca Verde Taxco Viejo, pudieron haber estado bajo el nivel del mar mientras se acumulaban las rocas posteriores.

Hacia mediados del Cenomaniano la región emergió del mar y parecen haber sido emplazados varios troncos graníticos (Buenavista, Coxcatlán y Colotepec) acompañados por combamientos locales y erosión diferencial de la cima de la Formación Morelos. Una laguna de duración desconocida, pero que probablemente se extendió cuando menos hasta principios del Turoniano, separa la Formación Morelos, erosionada, de las capas calcareníticas y calizas basales de la Formación Cuautla. El depósito de esta última parece haber comenzado hacia principios del Turoniano y continúa hasta el final de dicha edad. El margen occidental del banco se extiende desde las cercanías de Cuernavaca casi directamente al norte del límite entre los Estados de México e Hidalgo, y desde Cuernavaca hacia el sur pasando por el lago de Tequesquitengo y continuando hasta las cercanías de Huizúcar, situado a unos 20 Km adelante del pueblo de Tilzapotla (Fries, 1960).

La deformación intensa de las rocas cretácicas y anteriores sucedió probablemente durante el Eoceno temprano y medio. La erosión se intensificó fuertemente en las cimas de los anticlinales y el desagüe fue de régimen exorreico hasta alguna parte tardía del Eoceno, entonces los combamientos anchos y el fallamiento en bloques produjeron el desagüe

endorreico con la consiguiente acumulación de enormes cantidades de depósitos clásticos variables desde conglomerado grueso hasta el lodo fino y localmente aún la caliza y el yeso, que constituyen el Grupo Balsas. En varios lugares parecen haber ocurrido desplazamientos a lo largo de fallas de más de 2000 m. El fallamiento disminuyó gradualmente hacia principios del Oligoceno, permitiendo el restablecimiento del régimen exorreico y originando el cese del depósito del Grupo Balsas (Fries, 1960).

En el borde septentrional de la región y más al norte, en lo que ahora corresponde a la cuenca de México, el flujo de rocas andesíticas tuvo lugar simultáneamente con las rocas del Grupo Buenavista, probablemente hacia el final del Oligoceno y durante la mayor parte del Mioceno, causando la acumulación de la Formación Tepoztlán en el borde austral de estos centros eruptivos. El volcanismo andesítico continuó posiblemente hasta la primera parte del Plioceno.

Se renovó el fallamiento después de la acumulación de las rocas volcánicas miocénicas de composición intermedia y antes de que comenzaran a depositarse los materiales clásticos de la Formación Cuernavaca hacia el final del Plioceno. De hecho pudo haber sido una causa contribuyente de la acumulación de la Formación Cuernavaca, el bloqueo del desagüe, aunque grandes volúmenes de material andesítico arrojados de los centros volcánicos del Nevado de Toluca y del Popocatepetl hacia el final del Plioceno, probablemente contribuyeron con mucho del material del que compone dicha formación.

Se formaron llanuras anchas y poco inclinadas, por encima de las que sobresalían las rocas más antiguas a modo de islotes rodeados por el mar y se iban ampliando aún más las llanuras por el proceso erosivo de arrasamiento. El desagüe, tanto de la actual cuenca de México como de los afluentes superiores del río Lerma, se piensa que se dirigió hacia el sur para desembocar en el río Amacuzac, durante la acumulación de la Formación Cuernavaca.

El depósito de las lavas del Grupo Chichinautzin debió haberse iniciado hacia el final del Plioceno y particularmente durante el Pleistoceno, a causa del desarrollo de las fallas laterales profundas de la corteza que definen la zona neovolcánica, que atraviesa México en una dirección poniente a oriente. Las rocas superficiales encima de esas fallas profundas fueron fracturadas en bloques por cizallamiento y la tensión en tres direcciones principales, que son aproximadamente en dirección norte, noroeste y oriente, permitiendo así que el magma basáltico subcortical saliera por muchos puntos en una faja hasta de 200 Km de ancho en dirección norte sur, pero limitada principalmente a unos 60 Km de anchura en la región.

La erosión fue el proceso que actuó a través del Pleistoceno al sur de la zona neovolcánica. El material derivado de depósitos glaciofluviales de la cuenca de México así como de las andesitas y ceniza se acumularon en sitios protegidos mientras que se iba formando el suelo hacia el final del Pleistoceno y en el Reciente.

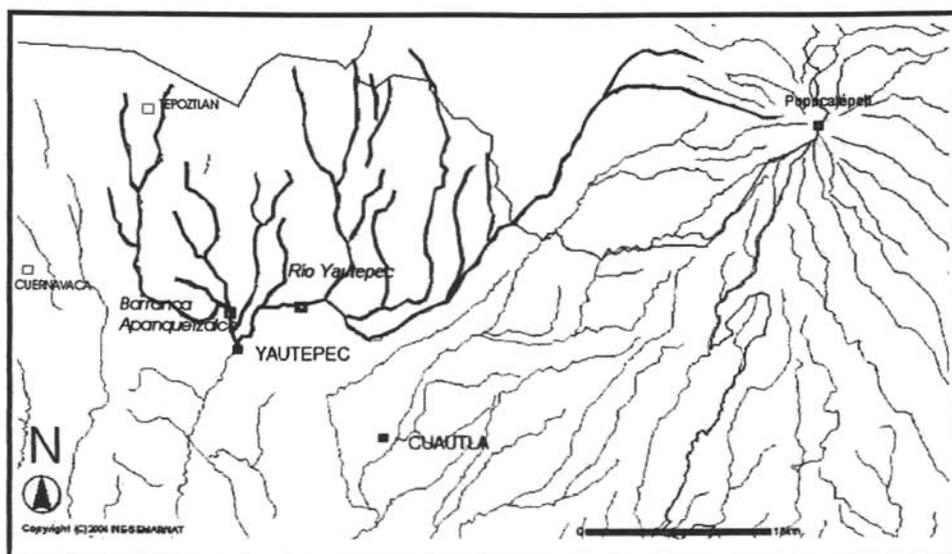


Fig. IV.2 Afluentes del Río Yautepec

4.2 EVENTOS METEOROLÓGICOS.

Dentro de este capítulo se abordarán comentarios importantes de las posibles causas del aumento de lluvia por la alteración de las condiciones climáticas en el mundo y los impactos que afectan al territorio nacional mexicano.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), el cual es un organismo internacional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas (PNUMA), existen análisis e informes cuyos datos son muy reveladores, como ejemplo: los años 1990, 1995, 1997 y 1998, han sido los más calientes desde el año 1400. Estas noticias mezclan información de fenómenos que corresponden a cambios en el clima, con otras que sugieren alteraciones al clima por influencia humana. Por ejemplo, el que años recientes sean más calientes, pueden ser un síntoma de un cambio climático por causas antropogénicas, incluso como eventos El Niño, se presentan con mayor frecuencia a partir de los ochenta.

Una atmósfera más caliente puede contener una mayor cantidad de vapor de agua, que además de ser un gas de efecto invernadero, es un transportador muy eficiente de energía. Se puede inferir entonces que el cambio climático altera el ciclo hidrológico que controla la precipitación y el escurrimiento, causado por lluvias torrenciales cortas, que es la causa de las inundaciones tanto en el mundo como en México.

Las variaciones del clima en México que se presentan año con año están en gran medida determinadas por la ocurrencia del fenómeno El Niño (Magaña y Quintanar, 1997). Las sequías a principios de los noventas o las más recientes (1997-1998), así como las inundaciones en el sureste de México, han sido importantes para la investigación de los factores que varían el clima en México. Por lo que el estudio de la influencia El Niño en las lluvias, la temperatura y en la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, se han desarrollado rápidamente por parte de varios científicos con el fin de entender los cambios que han tenido lugar en el ambiente.

4.2.1 EL NIÑO Y LA NIÑA

En las últimas tres décadas, se ha encontrado que gran parte de las variaciones climáticas está altamente relacionada con el fenómeno El Niño-Oscilaciones del Sur (Díaz y Markgraf, 1982).

El término El Niño, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre, asociado a El Niño Jesús. El calentamiento en las aguas de la costa del Pacífico suramericano pronto fue relacionado con el calentamiento anómalo del Pacífico central y del Este a lo largo del ecuador (Fig. IV.3), extendiéndose desde la línea internacional del tiempo (180°W) hasta la costa suramericana, resultando en graves alteraciones en el clima global y los ecosistemas.

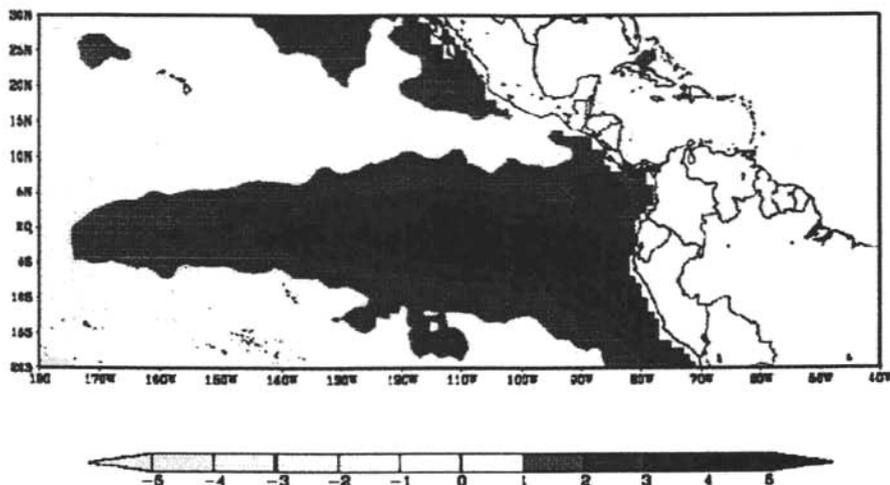


Fig. IV.3 Se observa el aumento de la temperatura de la superficie del pacífico central, El Niño 1997. (Magaña R, 1999).

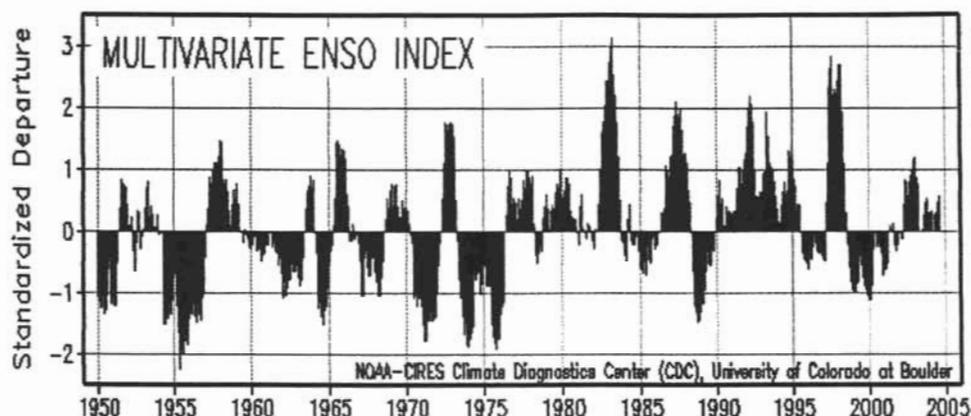
“La Niña”, conocida también como “El Viejo” y “El Anti-niño”, se utilizan para denominar la fase fría del fenómeno El Niño.

La Niña se define como la variación de temperatura en la superficie del mar más frío de lo normal en el Pacífico central y oriental que tiene impacto sobre los patrones meteorológicos globales.

El Niño y La Niña son condiciones anómalas en el Océano Pacífico tropical del Este. Bajo la definición más aceptada, El Niño corresponde al estado climático en que la temperatura de la superficie del mar está 0.5°C o más, por encima de la media del período 1950-1979, por lo menos seis meses consecutivos, en la región conocida como “Niño 3” (4°N - 4°S , 150°W - 90°W). De acuerdo a esta definición de Trenberth (1997), en los últimos cincuenta años han ocurrido doce acontecimientos El Niño. De 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-1983, 1991-92 (que algunos definen de 1991 a 1995) y 1997-98, siendo el primero y el último, de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX. En el invierno de 1997-1998 las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el extremo oriental del océano Pacífico ecuatorial llegaron a ser de casi 6°C (World Meteorological Organization. WMO, Junio 1998).

En contraste con la gran actividad reciente de El Niño, durante el período 1980-1998 sólo se produjeron tres episodios La Niña, los más recientes en los años de 1988-89, y en 1998-99.

Para el periodo 1950 al 2005 se representa en la grafica IV.4, en valores negativos, la fase fría la Niña y los valores positivos, la fase caliente El Niño, por lo que la ocurrencia de El Niño y La Niña no es periódica, pues estos eventos no ocurren uno con respecto al otro de manera consecutiva.



Grafica IV.4 El Niño y La Niña para el período 1950-2004.

Fuente: NOAA

En investigaciones recientes, se menciona que en condiciones normales el océano Pacífico tropical es recorrido por vientos dominantes que vienen del este, denominados Alisios. Tales vientos tienden a acumular el agua tropical más caliente en el lado oeste del océano Pacífico, es decir, en la región de Indonesia (Fig. IV.5 a). Por ser la temperatura de superficie del mar elevada ($>28^{\circ}\text{C}$) en esta región el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la que hay gran convergencia de humedad, formación de nubes y lluvias intensas (Webster 1994).

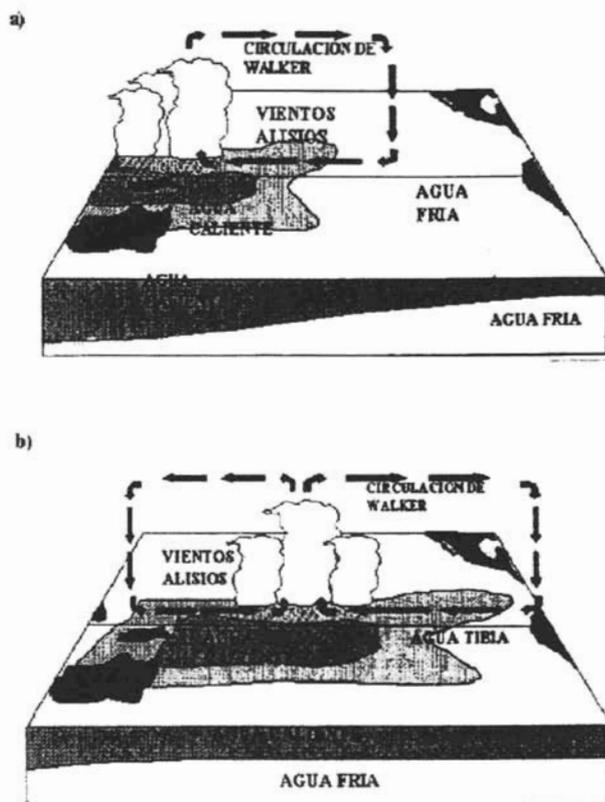


Fig. IV.5 Diagrama que representa la circulación atmosférica tropical y las condiciones medias del océano Pacífico durante a) un año normal y b) un año El Niño.
(Fuente: Magaña R, 1999).

Durante años El Niño, los vientos alisos en el Pacífico se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico tropical se esparcen a lo largo del Ecuador (Fig. IV.5 b), por efecto de una onda oceánica ecuatorial tipo Kelvin. Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del mar ($\sim 2^{\circ}\text{C}$), la cantidad de energía (calor) involucrada, altera los patrones de convección del viento, lo que da origen a la formación de nubes de gran altura y el calor se transporte a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférica (las nubes) producen cambios en el clima global (WMO, 1999).

Con tales cambios, donde antes llovía poco (por ejemplo Perú y Ecuador), ahora se producen lluvias intensas e incluso inundaciones; mientras que donde antes llovía mucho, llueve menos e incluso se producen sequías como en el pacífico del oeste (Indonesia o norte de Australia).

La Niña provoca en los trópicos eventos climáticos contrarios a los experimentados durante El Niño. En el caso de Australia o Indonesia, en vez de las sequías que se producen en El Niño, llueve más de lo normal.

El fenómeno natural El Niño ha existido siempre aunque parece cambiar su frecuencia e intensidad entre décadas.

El fenómeno El Niño que empezó de la primavera de 1997, constituye un caso más de como las variaciones en el clima pueden afectar a la población mundial (Fig. IV.6).

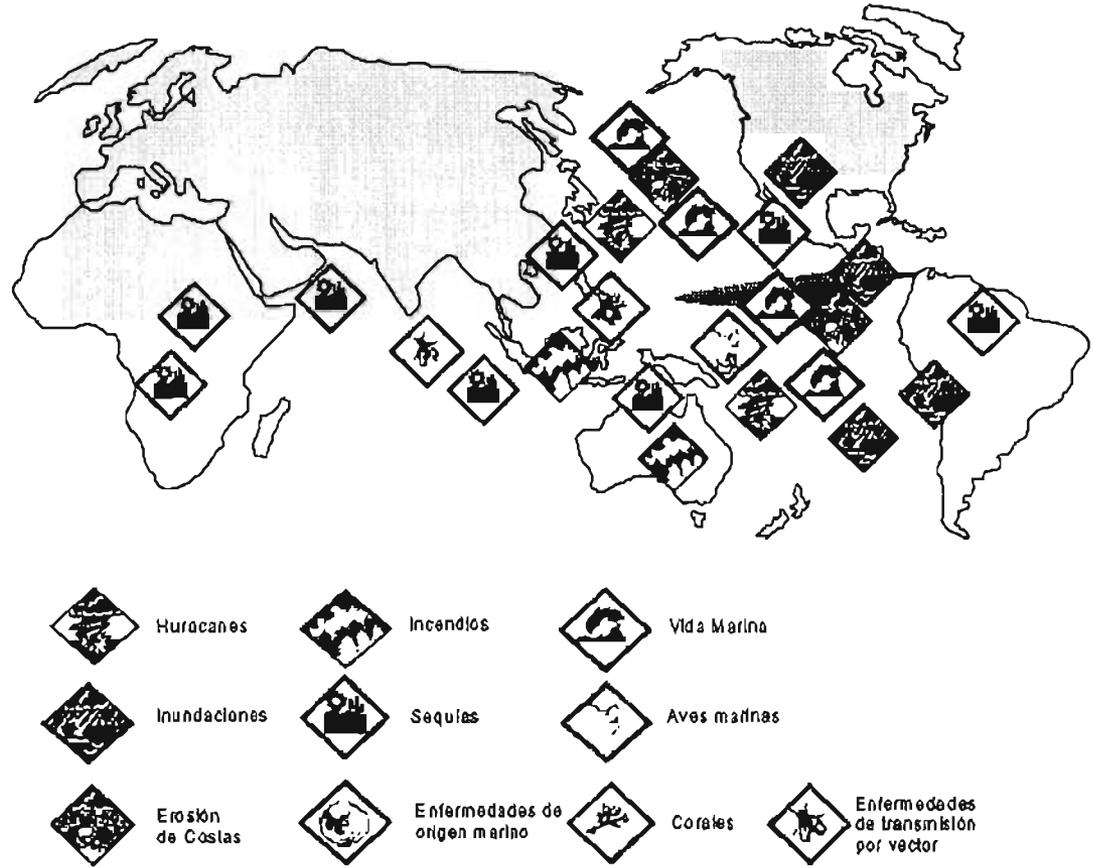


Fig. IV.6. Mapa de la distribución de algunos impactos en 1997 de El Niño en el mundo (Magaña R, 1999).

4.2.2. EL FENÓMENO EL NIÑO EN MÉXICO

El fenómeno El Niño en el país tiene efectos particulares, las lluvias se intensifican en invierno y las de verano se debilitan. En la zona centro y norte del país se incrementan los frentes fríos, en tanto que en verano aparece la sequía y disminuye el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña, et Al. 1998).

En los últimos años, se sabe que el fenómeno El Niño afecta las lluvias en México (Magaña y Quintanar 1997). Por ejemplo, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en la precipitación en el centro del país. Otros trabajos han confirmado el papel que juega El Niño, no sólo en las lluvias de verano, sino también en las de invierno (Cavazos y Hastenrath, 1990).

En forma general, se puede decir que las lluvias de invierno se han intensificado durante años (El Niño) en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte del sur (Magaña, et. Al. 1998). Los veranos de Niño son más secos y cálidos que los veranos de la Niña.

En los años de la Niña, las lluvias parecen estar alrededor o encima de lo normal en gran parte de México, (Fig. IV.7 b). La respuesta de las lluvias a la Niña parecen casi opuestas a las observadas durante El Niño, aunque los patrones de las anomalías no son exactamente inversos.

Debe recordarse que además de El Niño, existen factores que influyen en las lluvias de verano en México como la temperatura de la superficie del mar tanto en el Pacífico mexicano (Magaña et Al. 1999) como el Caribe (Enfield y Mayer, 1996); la circulación media, y la humedad en el suelo (Sud et Al. 1996), además de tomar en cuenta como factor esencial para las lluvias de verano la actividad de huracanes (Jáuregui, 1989).

La disminución en la densidad de nubes sobre México permite el aumento en la cantidad de radiación que llega a la superficie con lo que se registran temperaturas por encima de lo normal en gran parte del territorio durante veranos El Niño. En contraste entre anomalías de temperatura de superficie durante veranos El Niño y La Niña tienen que ver en cierta medida con la cubierta nubosa en unos y otros periodos. Un ejemplo es el caso del sur de Tamaulipas (Fig. IV.7 a y b). Una disminución en la cantidad de humedad sobre el altiplano, puede resultar en mayor enfriamiento y heladas inesperadas en México (Magaña y Morales, 1998).

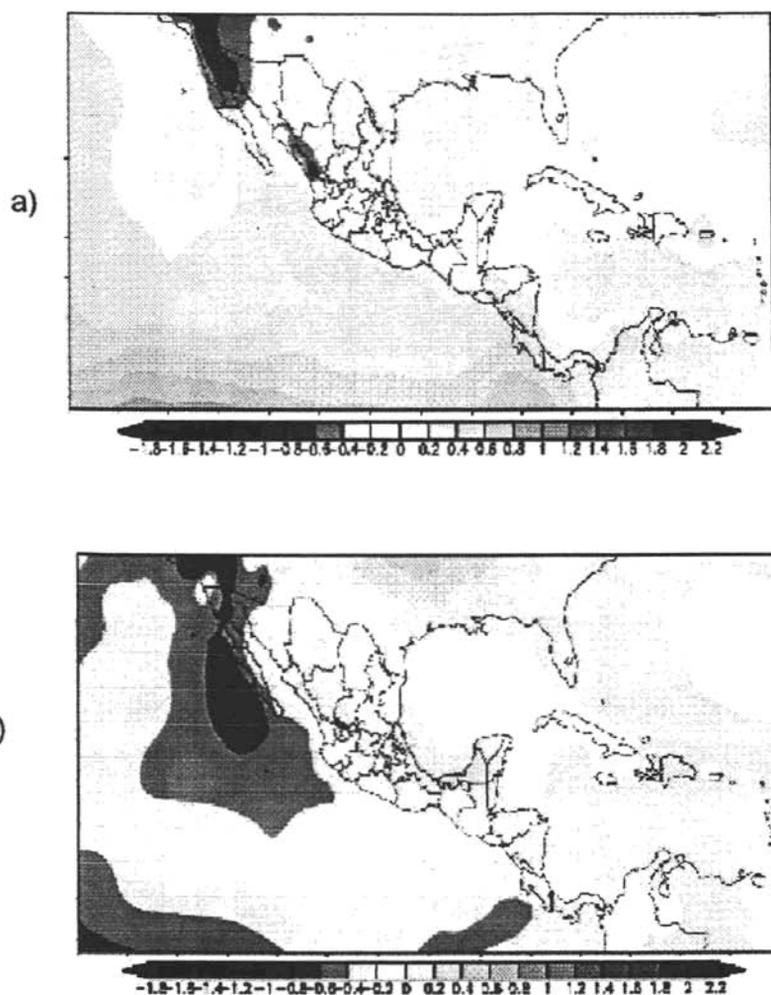


Fig. IV.7 a) El Niño, b) La Niña. Se observa la temperatura de la superficie del mar en °C. Para el Niño es mayor y menor temperatura para la Niña (Fuente: Magaña R, 1999).

La señal de El Niño en verano sobre México se puede presentar como disminución de las lluvias en la mayor parte del país y en años Niña un incremento (Fig. IV.8), por las siguientes causas:

1. Permanencia de la Zona Inter.-Tropical de Convergencia (ZITC) cerca del ecuador geográfico.
2. Disminución del número de huracanes en el Golfo de México y el Caribe.
3. Incremento de la subsidencia (movimiento del hundimiento de una masa de aire), en el norte de México.



Fig. IV.8 Efectos de Fenómeno El Niño en México en el verano (Magaña R, 1999).

4.3.- ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DEL ÁREA.

Para el cálculo y medición de las diferentes variables meteorológicas existen diversas estaciones climatológicas, las cuales fueron establecidas estratégicamente por la CNA en diferentes puntos del territorio nacional. Tienen por objeto el registro de los diferentes datos climatológicos.

Las diferentes variables meteorológicas medidas en las estaciones son:

- Medida de la lluvia.
- Medida de la temperatura.
- Medida de la evaporación.
- Medida de otros tipos de precipitación (granizo, tormenta eléctrica, niebla).

En el área de estudio se utilizaron, los datos de 20 estaciones climatológicas. Estas proporcionaron los datos necesarios para determinar las condiciones meteorológicas de la región, en especial de los datos históricos de la precipitación.

Se tomaron en la zona de estudio (1035 Km²) las 20 estaciones climatológicas para conocer el volumen total de lluvia hacia el que puede escurrir al poblado de Yauatepec.

La información histórica se consiguió de diferentes instituciones como la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Nacional del Agua Morelos (CNA Morelos), el Instituto de la Tecnología del Agua (IMTA) y el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN).

Se obtuvo en algunas estaciones, a partir de datos mensuales, la información necesaria para calcular los datos anuales de precipitación promedio, cuando los datos anuales proporcionados por las dependencias no estaban completos. En la tabla 1 se muestra la información de cada estación, su localización y altura sobre el nivel del mar. También se observan los años que tienen registros, ya que por causas técnicas algunas estaciones dejaron de operar uno o ciertos periodos. (ver también tabla 4)

No.	CLAVES Y NOMBRES ESTACIONES CLIMATOLOGICAS	PERIODO DE DATOS	UBICACIÓN		
			LATITUD (gra min)	LONGITUD (gra min)	ALTURA msnm
1	17004 Cuernavaca	1968-2000	18 55	99 15	1529
2	17014 Oaxtepec	1970-2002	18 54	98 58	1385
3	17024 Yautepec	1968-2003	18 52	99 05	1150
4	17049 Tepoztlán	76-77,82-83, 93-94,96-98,02-03	18 59	99 07	1700
5	17018 Ticumán	1968-1999	18 46	99 07	1130
6	17037 Esc Biolo	1975-1979	18 58	99 15	1100
7	17066 El Vigía Tlal	1981-1988	19 00	98 57	1100
8	17051 Totolapan	68-77,81-84, 86-97, 99-00	18 59	98 55	1920
9	17043 Yecapixtla	1976-1997	18 53	98 52	1690
10	17071 Progreso Jiutepec	1982-2002 88	18 53	99 09	1350
11	17048 Puente Ocuituco	76,77,1982-1998	18 53	98 45	1960
12	17068 Achichipico	1982-1998	18 57	98 49	1910
13	17001 Atlatlahuacán	68-2000	18 56	98 54	1656
14	17014 Temixco	1968-1998	18 51	99 14	971
15	17039 San Juan	1975-2000	19 02	99 06	2306
16	17047 Huitzilac Huitzilac	1968-2000	19 01	99 16	2850
17	15060 Nepantla Tepext.	1968-1983,1986-1988	18 59	98 50	1969
18	15103 S. Pedro Nexapa	1968-1988	19 05	98 44	2650
19	15039 Juchitepec	1969-1988	19 06	98 52	2860
20	17022 Tres Cumbres, Huitzilac	1968-1988	19 04	99 15	2800

Tabla 1 Nombre, periodo y ubicación de las estaciones climatológicas para el área de estudio.

4.4.- PRECIPITACIÓN

La precipitación juega un papel importante en la determinación del clima de una zona, pues la lluvia recarga los acuíferos. Es también uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico. El vapor de agua contenido en una masa de aire, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo, a consecuencia de los cambios de presión y temperatura. Cuando el agua, en estado líquido o sólido llega a la superficie de la tierra se dice que se ha precipitado.

A partir de los fenómenos meteorológicos, hay tres tipos de precipitación:

1. Precipitación convectiva. Es originada por el calentamiento de las masas de aire próximas a la superficie de un suelo que ha recibido una fuerte insolación. Suelen ser tormentas locales propias de la estación cálida.
2. Precipitación frontal o ciclónica, con origen en las superficies de contacto de masas de aire (frentes) con temperaturas y humedad diferentes. Pueden ser de frente cálido o frío, o bien estar originadas por oclusión de un frente.
3. Precipitación orográfica o lluvia de relieve, propia de zonas montañosas, por el enfriamiento y consiguiente condensación del vapor de agua en las masas de aire que al tropezar con una ladera ascienden por ella.

En la cuenca del río Balsas y ciudad de México que proporciona el mayor volumen llovido y escurrido hay tipos de precipitación frontal y orográfica, en tanto que en la subcuenca de Yauatepec el tipo de precipitación predominante es convectiva.

Para el cálculo de la cantidad de agua que se precipita en la subcuenca se recurrió a utilizar el método de los Polígonos de Thiessen. Este método consiste en calcular por medio de diferentes estaciones climatológicas disponibles, la precipitación para el área de influencia de la estación representada por su polígono envolvente.

Las estaciones se ubicaron sobre las cartas hidrográficas de la ciudad de México y Cuernavaca, escala 1: 250 000; después se unieron las estaciones adyacentes por rectas y a la mitad de cada una de ellas se trazó una perpendicular. Las intersecciones de estas perpendiculares delimitan los polígonos. En cada polígono, se utilizó la altura de precipitación promedio y es aquella que se calculó en la estación situada en el interior de cada polígono.

A continuación en la (figura IV.9) se muestran los Polígonos de Thiessen y la ubicación de las estaciones climatológicas.

Una vez definidas las áreas de cada polígono tabla 2, cada superficie se multiplicó por la precipitación media anual de las estaciones con lo que se determinó el volumen total de precipitación.

NÚMERO DE ESTACION	ÁREA POR ESTACIÓN Km ²
10	27.835
3	61.5
4	131.22
15	248.42
7	138.6
2	112.7
13	23.38
8	178.62
17	31.14
18	82.12
TOTAL	1035.53

Tabla 2 Superficies por estación climatológica

Una vez calculadas las áreas, obtenidas por los polígonos de Thiessen, se multiplican por la precipitación media de cada una de las estaciones centrales de cada polígono por el área respectiva. Debido a que en la parte norte de esta zona no se encuentran estaciones climatológicas que permitan conocer las condiciones reales, se realizaron promedios con la estación Huitzilac, ya que ésta es la que se encuentra en la parte noroeste y cercana a la zona donde no se tuvieron registros completos de datos. La información de esta estación, Huitzilac, es la que se utilizó para completar los registros de las estaciones Tepoztlán, El Vigía, Totolapan, San Juan y San Pedro Nexapa. El dato obtenido fue el volumen total de lluvia que se muestran a continuación en la tabla 3.

Estación	Nombre	Precipitación promedio (m)	Área Km ²	Area m ²	volumen m ³ llovido	volumen 10 ³ m ³ Llovido
1	17004 Cuemavaca	1.211330303				
2	17014 Oaxtepec	0.923719355	112.7	112700000	104103171.3	104103.1713
3	17024 Yautepec	0.898281818	61.5	61500000	55244331.82	55244.33182
4	17049 Tepoztlán	1.353609226	131.22	131220000	177620602.7	177620.6027
5	17018 Ticuman	0.876884375				
6	17037 Esc Biolo	1.1713				
7	17066 El Vigia Tlal	1.284346726	138.6	138600000	178010456.3	178010.4563
8	17051 Totolapan	1.275219424	178.62	178620000	227779693.4	227779.6934
9	17043 Yecapixtlá	1.015644				
10	17071 Jiutepec	0.90385	27.835	27835000	25158664.75	25158.66475
11	17048 P.Ocuituco	0.961772222				
12	17068 Achichipico	1.0545				
13	17001 Atlatlahuacan	0.807590323	23.38	23380000	18881461.74	18881.46174
14	17014 Temixco	0.859947059				
15	17039 San Juan	1.506362351	248.42	248420000	374210535.3	374210.5353
16	17047 Huitzilac	1.506169697				
17	15060 Nepantla	0.685915789	31.14	31140000	21359417.68	21359.41768
18	15103S. P.Nexapa	1.057040476	82.12	82120000	86804163.9	86804.1639
19	15039 Juchitepec	0.7427				
20	17022Tres Cumbres	1.551280952				
AREA TOTAL			1035.535	1035535000		
VOLUMEN TOTAL LLUVIA					1269172499	1269172.499

Tabla 3 Volúmenes de precipitación.

4.5.- DATOS FALTANTES

Existen estaciones pluviométricas con datos faltantes en sus registros debidos, entre otros factores, a la negligencia del operador o a la ausencia del aparato durante determinado tiempo.

Los datos faltantes de precipitación son muy comunes por causas muy diversas en los registros de toma y por medio de la ecuación 1, se completaron los datos faltantes.

En general, se puede utilizar la siguiente fórmula para completar los datos faltantes, siempre y cuando se conozcan datos durante ese periodo en otras estaciones pluviométricas cercanas (Monsalve, 1999). En el caso de la cuenca de Río Yautepec, se utilizaron las estaciones climatológicas Totolapan, San Juan y Cuernavaca, ya que contienen la mayor cantidad de datos y condiciones similares que se requieren para utilizar, en la construcción de datos faltantes.

La correlación de estaciones próximas se realiza cuando una de ellas no tiene registros, en un periodo, entonces se utiliza otra estación próxima de condiciones climatológicas semejantes en ese mismo periodo, así es posible establecer las correlaciones anuales faltantes.

$$P_x = 1/n \{ (N_x/N_1)P_1 + (N_x/N_2)P_2 + \dots + (N_x/N_n)P_n \} \dots \text{Ecuación 1. Datos faltantes.}$$

En donde:

n: numero de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cerca a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.

P_x: precipitación de la estación "x" durante el periodo por completar.

P₁ a P_n: precipitación de las estaciones 1 a n durante el periodo de tiempo por completar.

N_x: precipitación media anual a nivel multianual de la estación "x".

N₁ a N_n: precipitación media anual a nivel multianual de las estaciones de 1 a n.

En la siguiente tabla 4 se muestran los valores reales que se obtienen de cada estación y los datos calculados a partir de la ecuación 1 de datos faltantes.

AÑOS	OAXTEPEC	YAUTEPEC	TEPOZTLAN	EL VIGIA	TOTOLAPAN	PROGRESO	TLAHUACAN	SAN JUAN	NEPANTLA	SAN P. NEXA
1982	706.5	815.6	918.3	660.7	666	679.5	244.5	1057.4	334.5	646.5
1983	978.5	950.8	1239.14817	1175.77117	1027.7	847.3	543.5	1394.2	871.6	900.2
1984	903	952.8	1285.86676	1434.1	852.1	944.9	983	1695.2	641.43392	925.7
1985	973	921.2	1201.86798	1102.9	800	1013.1	610.5	1486.3	608.00411	843.2
1986	903.6	908.1	1197.46575	1110.9	850.7	812.5	930.5	1368.2	537.5	821
1987	733.5	648.3	1321.25404	937.9	1221	878.5	461.5	1368.5	688.494397	761.1
1988	908.5	856.8	1214.95336	1104.4	1386.5	222	795.4	1073	990	858.4
1989	710	878.4	1171.33124	1111.42456	1058.6	676.3	878	1343.8	593.52772	914.74654
1990	1061.5	952.2	1589.92256	1506.60896	1294.1	1124.5	826.2	1924	805.634813	1241.64376
1991	887	757.1	1370.25891	1300.17887	1166.7	1036.1	789.8	1616.9	694.327643	1070.09622
1992	983	887	1365.31797	1323.95536	1126.9	1229.7	624.1	1637.4	707.02562	1089.55722
1993	865	891.1	1179.5	1262.35464	1167.8	716	621	1670.9	674.127137	1036.96645
1994	596.9	686.2	1049.5	1096.09683	802.7	673	575.8	1532.7	566.343657	902.128607
1995	1010	1168.5	1547.09671	1467.96482	1314	1148.1	1035	1515	783.932653	1208.19803
1996	956	855.6	1270.9	1124.02905	945.3	663.9	1007.6	1504.2	600.259037	925.118703
1997	905.5	860.7	1227.4	1175.13004	908.1	1133.8	785.1	1393.2	627.55126	967.17575
1998	937.5	1000.4	1666.6	1540.64828	1132.1	1293.8	1265	1892.1	822.749003	1268.01362
1999	1040	1100.7	1359.18976	1299.66939	1231.7	1218	1187	1372.7	688.716883	1081.45125
2000	756.5	699.3	1343.6155	1274.89624	1336.6	916	851	1544.5	680.82543	1049.23282

Tabla 4 Registro de precipitación por estación climatológica en mm en la subcuenca del río Yautepec

Valores reales

Valores calculados

4.6.- RELACIONES LLUVIA ESCURRIMIENTO

Esta relación es la parte esencial de este trabajo, pues permite conocer la cantidad de volumen que afecta al poblado de Yautepec, en el periodo de 1968 a 1999.

Las características fisiográficas de la cuenca, se conocieron por diversos reconocimientos de campo y de la información en los planos topográficos y geológicos. La precipitación se obtuvo, a través de mediciones directas y calculadas.

Los principales parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento son los siguientes:

1. Superficie de la cuenca.
2. Altura total de la precipitación
3. Unidades litológicas.
4. Características fisiográficas de la cuenca, tales como: unidades litológicas, relieve, suelos y vegetación.
5. Distribución de la lluvia en el tiempo.
6. Distribución en el espacio de la lluvia.

Con el método del Coeficiente de Escurrimiento que se reseña a continuación se pueden evaluar las condiciones de lluvia- escurrimiento, muy cercanas a las condiciones reales.

4.6.1.- CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El coeficiente de escurrimiento se determina en una zona a partir de la cantidad del volumen de lluvia total y el volumen de escurrimiento. Los valores del coeficiente de escurrimiento, dependerán del comportamiento en la intensidad de lluvia; así como de las características superficiales del escurrimiento como la pendiente topográfica, permeabilidad y porosidad del suelo, infiltración, proximidad del nivel freático, grado de compactación del suelo, y vegetación. Se debe escoger un coeficiente de escurrimiento que represente los efectos integrados por estos factores. En la tabla 5 se muestran algunos valores del coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de terrenos.

DESCRIPCIÓN DEL TERRENO	Ce
Zonas comerciales	0.70/0.95
Zonas residenciales (semiurbanas)	0.25/0.40
Zonas suburbanas	0.10/0.30
Calles asfaltadas	0.70/0.95
Suelos arcillosos con pendientes medias(0.02-0.07)	0.18/0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25/0.35

Tabla 5 Coeficientes de escurrimiento para diversas condiciones en valores mínimo y máximo. (Aparicio, 1999)

El coeficiente de escurrimiento (C_e), está dado por el volumen total de lluvia entre el volumen escurrido medio anual.

$$C_e = \frac{V_{ll}}{V_e}$$

El coeficiente de escurrimiento anual (C_e) se utilizó para determinar la estimación del escurrimiento en el río Yautepec; así como la lluvia y el coeficiente de escurrimiento medio anual, el cual corresponde al valor medio de los coeficientes de escurrimiento anuales observados durante el período 1968-1999 en la estación hidrométrica Yautepec.

Los datos históricos que fueron proporcionados por la CNA de Morelos, IMTA (Bandas)^a, cabe mencionar que no existen registros de los años de 1988 a 1994.

Los datos históricos de escurrimiento son los siguientes para la estación Yautepec:

Volumen Escurrido	
Años	10^6 m^3
1968	46970
1969	48915
1970	48709
1971	47745
1972	46889
1973	49053
1974	48268
1975	49161
1976	46561
1977	43873
1978	42226
1979	40996
1981	41220
1982	39452
1983	39512
1984	39588
1985	38697
1986	38517
1987	37768
1995	39061
1996	38229
1997	37159
1998	37344
1999	37401
Σ	1023314
VOLUMEN ESCURRIDO MEDIO ANUAL	42638.1

^a Bandas. Es un programa de consulta realizado por el IMTA, el cual contiene una base de datos climáticos de diferentes estaciones en el país.

Como antes se mencionó el coeficiente de escurrimiento (C_e), está dado por el volumen total de lluvia entre el volumen escurrido medio anual.

$$C_e = \frac{V_{ll}}{V_e}$$

V_{ll} = Volumen de lluvia

V_e = Volumen escurrido

Dados los datos de lluvia y escurrimiento se determinó lo siguiente:

	10*3 m³
VOLUMEN ESCURRIDO	1023314
VOLUMEN ESCURRIDO MEDIO ANUAL	42638.1
VOLUMEN TOTAL LLUVIA PROMEDIO 10 ESTACIONES	126917.2499
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C_e)	0.33595

El coeficiente de escurrimiento varía de una cuenca a otra y de una tormenta a otra debido a las condiciones de humedad iniciales.

Existen valores representativos del C_e , para identificar las diversas características de las cuencas, dependiendo del tipo de área drenada (comercial, residencial, industrial, urbanas, calles, estacionamientos, praderas, etc.), también dependerá si se encuentran con asfalto o en pendiente, además se establece un coeficiente de escurrimiento mínimo y uno máximo (Aparicio, 1999).

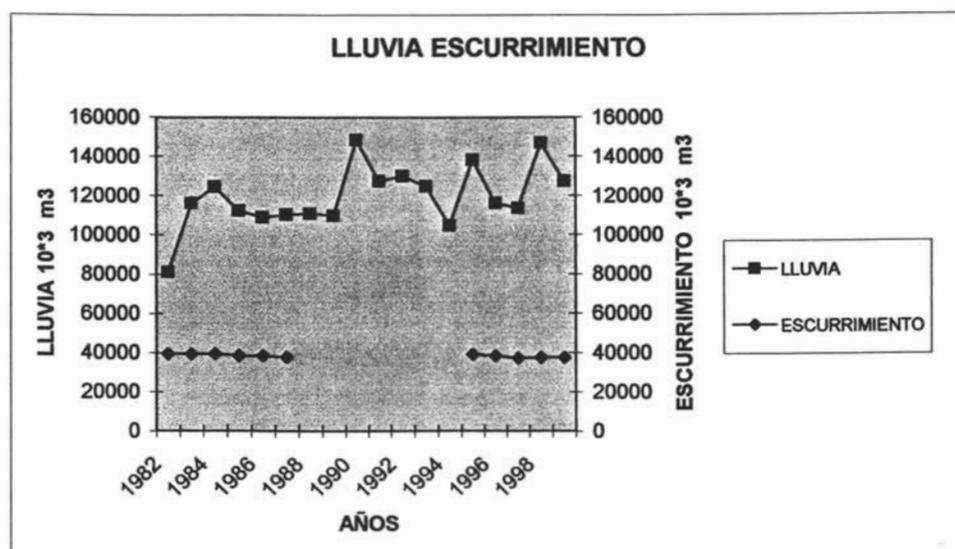
Para la subcuenca del río Yautepec, se calculó el tipo de coeficiente de escurrimiento, el cual es del tipo de suelos arcillosos escarpados con pendiente de 0.07 o más y con un C_e , mínimo de 0.25 y uno máximo de 0.35 ver tabla 5.

Para la relación Lluvia –Escurrimiento, mediante el empleo directo de los valores anuales de lluvia y del escurrimiento en la subcuenca de Yautepec, se formaron correlaciones gráficas en las que en uno de los ejes representa valores de lluvia y el otro de escurrimiento.

En la gráfica 1 se observan las variaciones de escurrimiento y lluvia total de la subcuenca Yautepec para el periodo 1982-1999.

AÑOS	LLUVIA 10^3 m^3	ESCURRIMIENTO 10^3 m^3
1982	81200.7417	39452
1983	116158.667	39512
1984	124383.885	39588
1985	112216.99	38697
1986	108905.387	38517
1987	110205.729	37768
1988	110788.469	S/D
1989	109765.195	S/D
1990	148269.469	S/D
1991	127340.616	S/D
1992	130029.863	S/D
1993	124646.302	S/D
1994	104774.35	S/D
1995	138300.73	39061
1996	116320.198	38229
1997	113610.055	37159
1998	146699.544	37344
1999	127328.26	37401

S/D (sin datos registrados)



Gráfica. 1 Relación Lluvia - Escurrimiento

La lluvia es una de las variables más difíciles de pronosticar, aunque existe la forma para definir las zonas dentro de las cuales las tormentas de mayor intensidad se pueden presentar como su distribución espacial, su evolución, promedio de precipitación, escurrimiento y almacenamiento en cierto tiempo. A pesar de esto aún no pueden ser vaticinadas con certidumbre.

Las tormentas más temibles son aquellas que tienen baja velocidad de translación, pues actúan durante más tiempo en cada sitio y permiten acumular un promedio de lluvia mayor.

Para el pronóstico del aumento de lluvias dados los efectos climáticos globales, en la región de Yautepec en los próximos años se deberá seguir analizando para fines de prevención, el aumento en la precipitación pluvial y el escurrimiento.

Los modelos numéricos el de mínimos cuadrados, indican la forma aproximada de las manifestaciones del aumento de lluvia que se esperan en los próximos años en la región y sirven para que las autoridades y la población civil tomen medidas preventivas.

Para ello, se realizaron gráficas comparativas, para evaluar el aumento de lluvia en los últimos años, así como el de escurrimiento de acuerdo al periodo comprendido entre 1982-2000.

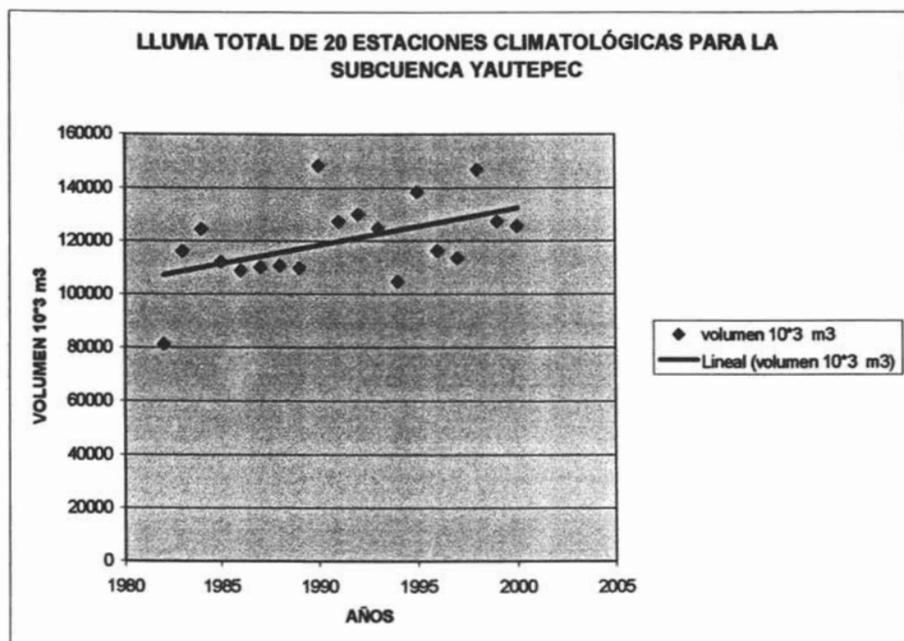
Para determinar los escurrimientos anuales, en que no hubo registro (1988-1994) en la estación hidrométrica Yautepec, se usó la precipitación anual promedio de la cuenca durante el periodo 1982-2000 con un escurrimiento uniforme de 0.33 para el mismo periodo.

A continuación se muestran las gráficas (2 y 3), que permiten tener una visión más clara de lo acontecido en las estaciones climatológicas más importantes en la subcuenca hidrológica del río Yautepec. Se presentan datos de la cantidad de lluvia anual escurrida en 10 estaciones climatológicas para el área de precipitación en esta subcuenca, así como de escurrimiento anual por medio del coeficiente de escurrimiento, para uniformar, el escurrimiento para los años 1982-2000. Los datos usados para estas gráficas se muestran en la tabla 6.

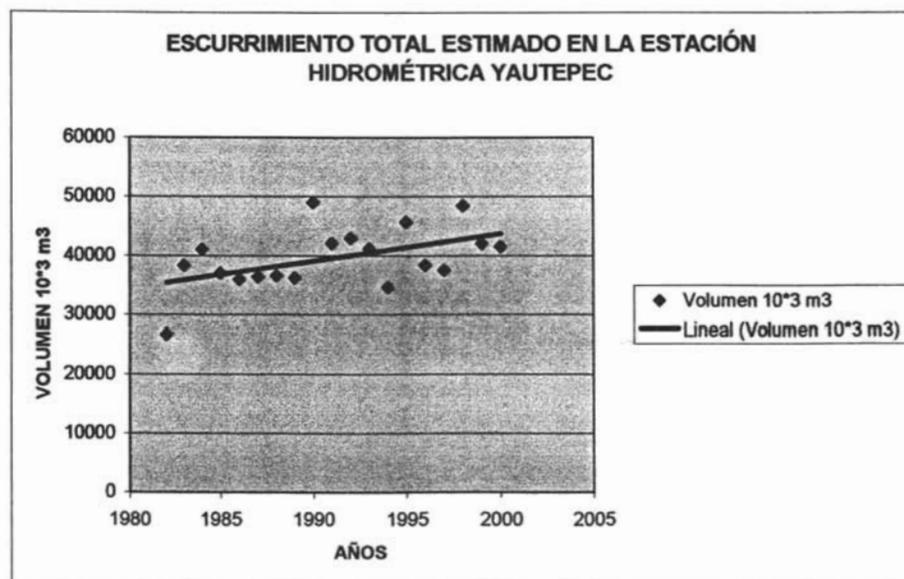
LLUVIA TOTAL YAUTEPEC		ESCURRIMIENTO TOTAL YAUTEPEC	
AÑO	VOLUMEN 10^3 m^3	AÑO	VOLUMEN 10^3 m^3
1982	81200.74165	1982	26796
1983	116158.6669	1983	38332
1984	124383.885	1984	41046
1985	112216.9902	1985	37031
1986	108905.3869	1986	35938
1987	110205.729	1987	36367
1988	110788.4693	1988	35560
1989	109765.1947	1989	36222
1990	148269.4687	1990	48928
1991	127340.6164	1991	42022
1992	130029.8634	1992	42909
1993	124646.3019	1993	41133
1994	104774.3499	1994	34575
1995	138300.7303	1995	45639
1996	116320.1984	1996	38385
1997	113610.0551	1997	37491
1998	146699.5438	1998	48410
1999	127328.2601	1999	42018
2000	125646.5053	2000	41463

*Por el coeficiente de escurrimiento 0.33

Tabla 6 Lluvia total de la subcuenca (20 estaciones) y escurrimiento estimado para la estación hidrométrica Yautepec.



Gráfica 2. Lluvia total subcuenca (20 estaciones) Yautepec 1982-2000



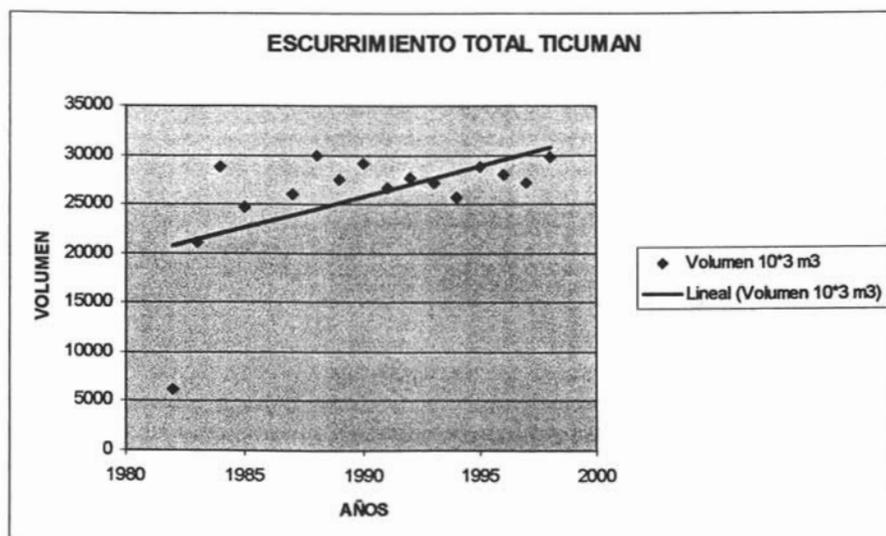
Gráfica 3 Escurrimiento total estimado estación hidrométrica Yautepec 1982-2000

Con fines de comparación se usó la estación hidrométrica Ticumán, la cual se encuentra aguas abajo de la estación hidrométrica Yautepec; cuenta con mayores registros de escurrimiento observado, para el período 1982-1998 (gráfica 4). En la gráfica se observa un aumento del escurrimiento.

Estación Hidrométrica Ticumán

AÑO VOLUMEN 10^3 m^3

1982	6182
1983	21114
1984	28753
1985	24776
1986	S/D
1987	26035
1988	29892
1989	27400
1990	29047
1991	26696
1992	27717
1993	27113
1994	25734
1995	28731
1996	27959
1997	27110
1998	29817



Gráfica 4. Escurrimiento registrado en la estación Ticumán. (Datos Bandas, 1999).

Las gráficas (2, 3 y 4) permiten comparar el aumento creciente de la lluvia y el consecuente escurrimiento.

4.7.- EVAPORACIÓN.

Es la conversión gradual de un líquido en gas. Es la cantidad de agua que puede evaporarse a partir de una superficie dependiendo de la cantidad de calor proveniente del sol. La evaporación en el suelo es muy importante para determinar el escurrimiento; no obstante, su acción se limita a una profundidad relativamente pequeña aproximadamente a un metro en el subsuelo en zonas templadas.

La evaporación disminuye la humedad superficial del suelo, lo cual produce un movimiento ascendente del agua por capilaridad. La evaporación depende de la porosidad, el contenido de humedad y la cantidad de agua que contienen las capas superficiales. Los factores físicos que inciden en la intensidad de la evaporación son: la temperatura, humedad y presión atmosférica.

La transpiración es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera.

La evapotranspiración es la suma de la evaporación y la transpiración. Cuando el área sea de escasa vegetación, únicamente se tomará en cuenta la evaporación como es el caso para la subcuenca de Yautepec.

El volumen de evaporación cercana al 70% de la precipitación total, es mayor que la cantidad de escurrimiento e infiltración.

Cabe mencionar que en las partes altas, hacia el norte de Yautepec, la evaporación es mínima con respecto a las zonas bajas, donde la evaporación es cercana a la cantidad que es llovida de acuerdo a los datos de evaporación de las estaciones climatológicas, debido a los factores atmosféricos.

4.8.- INFILTRACIÓN

Se define como el movimiento de agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de fuerzas gravitacionales y capilares.

La infiltración juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escurrimiento y, por tanto, en los problemas de diseño y predicción asociados a la dimensión y operación de obras hidráulicas.

4.8.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INFILTRACIÓN

El proceso de infiltración puede describirse cuando al inicio de una tormenta el suelo está de tal manera seco que la cantidad de agua que se puede absorber en la unidad de tiempo (es decir, su capacidad de infiltración) es mayor que la intensidad de la lluvia en los primeros instantes de la tormenta. Bajo estas condiciones, se infiltrará toda la lluvia, aunque por un periodo. En este instante, las fuerzas producidas por la capilaridad predominan sobre las gravitatorias.

Si la lluvia es suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta, hasta que la superficie alcanza la saturación. En este tiempo es cuando existe un encharcamiento en el terreno.

Los factores principales que afectan la capacidad de infiltración son:

- Textura del suelo.
- Contenido de humedad inicial.
- Contenido de humedad de saturación.
- Cobertura vegetal.
- Uso del suelo.
- Aire atrapado.
- Lavado de material fino.
- Compactación.
- Temperatura (cambios y diferencias).
- Pendiente del terreno.

De acuerdo a los valores conocidos de precipitación, evaporación y escurrimiento se obtuvo la infiltración por medio de diferencias, dando como resultado el 4% del total de la precipitación.

Los factores que afectan la capacidad de infiltración en la zona de estudio son bajas, alrededor del 4%. Esto se debe en parte por las estructuras geológicas como fracturas y fallas, que son escasas en las partes bajas y medias de la subcuenca Yautepec-Tepoztlán; también otros factores son la reducida vegetación, la pendiente alta del terreno, la compactación de la roca en el caso de los lahares de Tepoztlán que se encuentran bien cementados y basaltos masivos; ambas rocas impermeables que disminuyen la infiltración.

5.- HIDROGEOLOGÍA

5.1.- ACUÍFEROS.

El área acuífera, tiene una extensión aproximada en la zona de estudio de 350 Km². Cubre las porciones planas de los valles de Cuautla y Yauatepec, así como de las partes bajas de las sierras.

El acuífero se encuentra constituido por material granular de origen ígneo extrusivo (materiales piroclásticos y arenas de grano grueso a fino), cuyo espesor varía de menos de 10 m a más de 300 m (en las partes bajas del valle y por derrames lávicos fracturados intercalados con material piroclástico). INRA, 1996. Pruebas de bombeo realizadas por esta empresa en la zona de estudio de esta tesis dan la información en la tabla 7. Como puede verse la transmisividad varía de 0.001 a 0.0009 m²/s.

POZOS	LOCALIDAD	TRASMISIBILIDAD m ² /s	CAUDAL m ³ /s	PROF. TOTAL M	NIVEL ESTÁTICO m
342	Oaxtepec, IMSS	0.0005	12.02	74	42.02
436	Tlayacapan, Fracc. Jardines Tlayacapan	0.004	13.03	169	131.00
508	Tepoztlán, Col. Atongo	0.0009	20.00	100	23.20
602	Ejido Oacalco	0.001	18.0	65	7.71

Tabla 7. Resumen de pruebas de bombeo de la zona estudiada

Al poniente, el acuífero está limitado por rocas sedimentarias marinas cretácicas, que forman las sierras limitrofes. Su configuración estructural de plegamientos en el subsuelo, determina fuertes cambios de espesor del relleno.

5.2.- COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO.

Las características hidráulicas y el comportamiento hidrogeológico de las rocas dependen de su litología, estratigrafía y de la estructura geológica. Las rocas ígneas extrusivas que forman la sierra del Chichinautzin se caracterizan por su elevada permeabilidad secundaria, asociada con textura porosa. Su permeabilidad varía en un intervalo muy amplio y es controlada por su densidad de fracturamiento.

Estas rocas, tienen baja y también alta capacidad de infiltración, por lo cual constituyen excelentes receptoras, transmisoras y de recarga de agua subterránea (INRA, 1996).

El comportamiento del material piroclástico está controlado por su tamaño de grano, fracturamiento y grado de compactación o cementación. Los de grano fino (cenizas) tienen alta porosidad y baja permeabilidad. Los piroclásticos no cementados, son más permeables y menos porosos que los anteriores, por lo que constituyen buenos acuíferos.

Materiales aluviales intercalados con las rocas volcánicas (gravas, arenas y limos), forman la cobertura aluvial delgada en las partes bajas de la zona. Su permeabilidad depende de su granulometría.

La capacidad de infiltración de las rocas expuestas, es el factor geológico que controla el ingreso del agua al subsuelo. Las rocas fracturadas son excelentes receptoras de recarga. El agua infiltrada desciende en la masa rocosa siguiendo trayectorias tortuosas controladas por la estructura y estratigrafía de la masa volcánica.

5.3.- UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

UNIDAD 1 (U1) DEPÓSITOS RECIENTES PERMEABLES

El comportamiento y las características de las rocas no consolidadas dependen principalmente de su granulometría y grado de compactación. Los depósitos aluviales de grano grueso a medio, predominan en el subsuelo de la zona del valle de Cuautla-Yautepec, los cuales, por tener alta capacidad de infiltración, son excelentes receptores de recarga.

Desde el punto de vista hidráulico, el acuífero granular se comporta como "libre", aunque, localmente, puede estar semiconfinado por lentes de materiales arcillosos (INRA, 1996).

En general, la permeabilidad de los depósitos no consolidados establece una relación directa entre el tamaño de las partículas y su permeabilidad de tal forma que cuanto menor es el tamaño de las partículas menor es su permeabilidad, debido a que su área de contacto con el agua es elevada y su resistencia al flujo es alta.

UNIDAD 2 (U2) DEPÓSITOS VOLCÁNICOS SEMIPERMEABLES

Esta unidad la compone la Formación Chichinautzin, que ocupa una superficie de 27.5 Km² alrededor del valle de Yautepec, en la sierra del Chichinautzin y en los cauces de los ríos y arroyos. Se observó en cuerpos masivos y lajeados. Su densidad de fracturamiento dentro de la zona de estudio es baja, de sólo 363 m de longitud de fracturas por cada Km².

En la cabecera de la cuenca del Balsas, la Formación Chichinaultzin es muy permeable y constituye zonas de recargas muy importantes, pero dentro de los límites del área analizada se le consideró de baja permeabilidad.

UNIDAD 3 (U3) ROCAS IMPERMEABLES

En esta unidad se integran las rocas sedimentarias marinas (Formación Morelos, Cuautla y Mezcala), y los lahares de la Formación Tepoztlán. En la Fig. V.1 se observan las unidades hidrogeológicas.

Las rocas sedimentarias en la zona estudiada son bancos gruesos con densidad de fracturamiento baja, de 883m de longitud de fracturas por cada Km². Es de hacer notar que la Formación Morelos en algunas localidades es productora, pero en el área de estudio se encuentra cabalgando a las rocas de la Formación Cuautla y Mezcala, ambas con lutitas. A profundidades mayores de 150 m es probable que ocurra un flujo profundo en las rocas de la Formación Morelos de norte a sur, proveniente de la recarga en la Sierra Chichinaultzin (Jaimes P. 1989). Ampliar una investigación a este respecto sería muy interesante, pues podrían perforarse pozos para filtración de aguas del río Yautepec con una carga de 150 m, capaz de inducir la entrada en las rocas carbonatadas.

La información disponible en la zona de exploraciones geofísicas (INRA, 1996), es muy pobre, pues la profundidad máxima investigada fue de 30 m. Con el fin de conocer si se establece flujo y a que profundidad en las rocas de la Formación Morelos, se propone que se efectúen 20 sondeos eléctricos con espaciamiento de 500 m entre cada uno desde Oaxtepec a Itzazmatitlán, a una profundidad de exploración de 150 m. Ver figura V.2.

El Grupo Balsas se presenta en manchones de reducida superficie y se encuentran sobreyaciendo a las calizas impermeables. Los lahares de la Formación Tepoztlán, se encuentran muy por encima del nivel de saturación, además, se encuentran bien cementados y su densidad de fracturamiento es mediana, de 1818 m de fracturas por cada Km². Se observa en la Fig. V.3 la densidad de de fracturamiento en la zona.

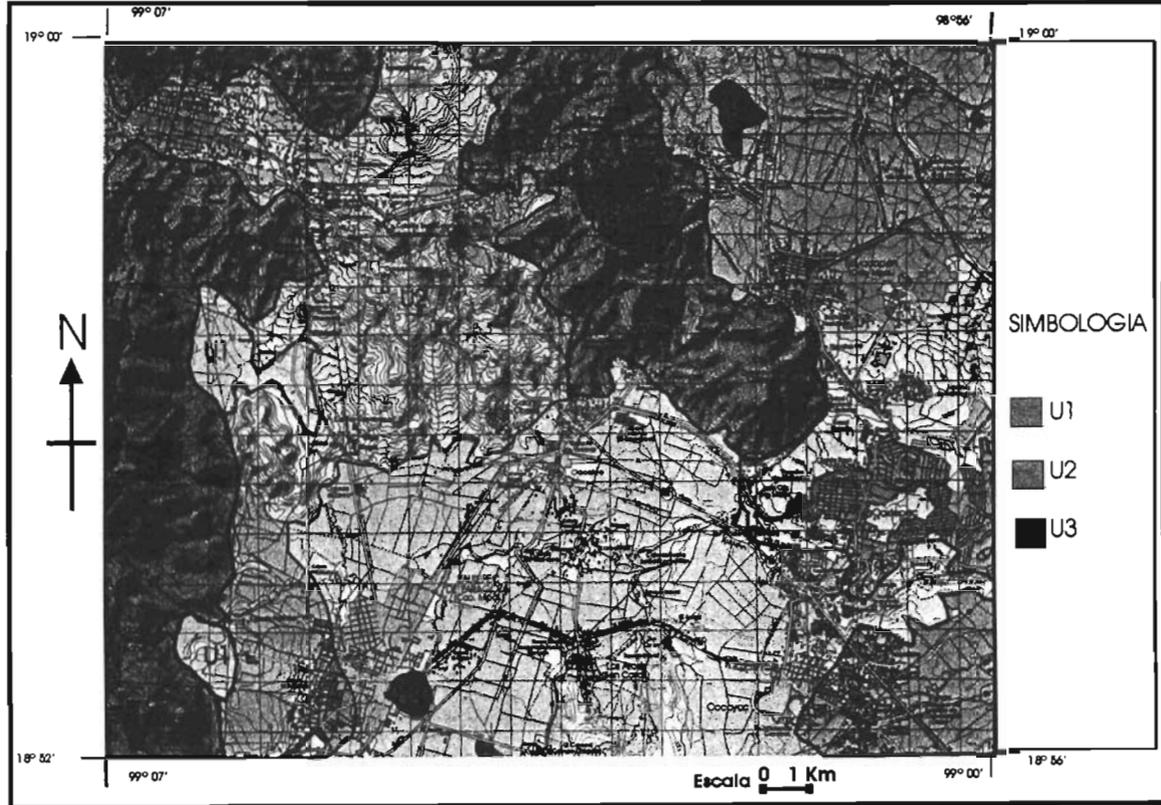


Fig. V.1 Unidades hidrogeológicas (INEGI,1998).

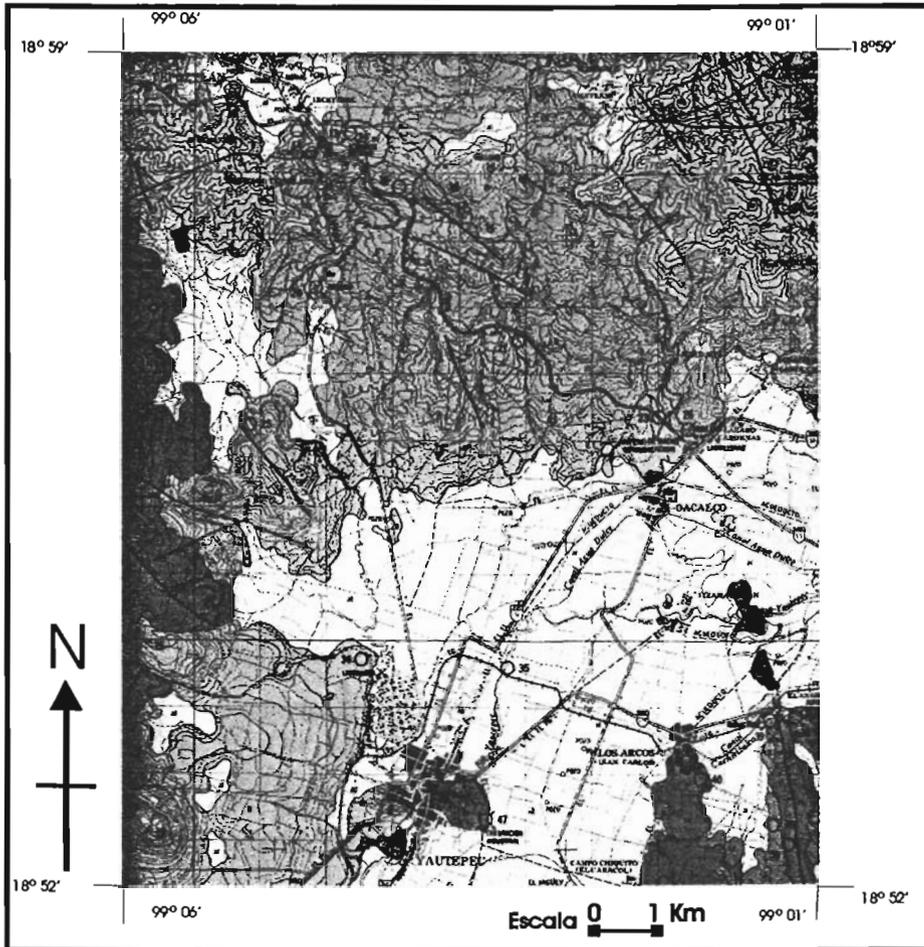


Fig. V.3 Densidad de fractura (INEGI, 2001).

5.4.- NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

El conocimiento y delimitación de los niveles de agua subterránea es de importancia, para conocer la posición del agua en el subsuelo.

La profundidad de los niveles de agua en el periodo mayo-junio de 1996, se presenta gráficamente en la Fig. V.4. Varía de 25 a 50m (INRA, 1996). En la figura puede observarse que el flujo subterráneo es hacia el valle de Yautepec, debido principalmente a la concentración de pozos en esa área.

La profundidad somera al nivel estático es una fuerte limitación para infiltrar agua de escurrimiento, debido a la poca carga de presión que se establecería en pozos de absorción.

Aún en los flancos del valle donde se observan profundidades al nivel estático de 50m, es muy probable que el agua de escurrimiento torrencial que se infiltrara en estos flancos, drenara hacia el valle formando manantiales acentuando el problema de inundación. (Ver Fig. V.4). Este efecto de recarga se suscitó en el valle de Tula por el agua residual proveniente de la ciudad de México, la recarga natural inducida, elevó los niveles estáticos de 50 y 60m a unos pocos metros y se presentaron manantiales e inclusive inundaciones en el valle del Mezquital.

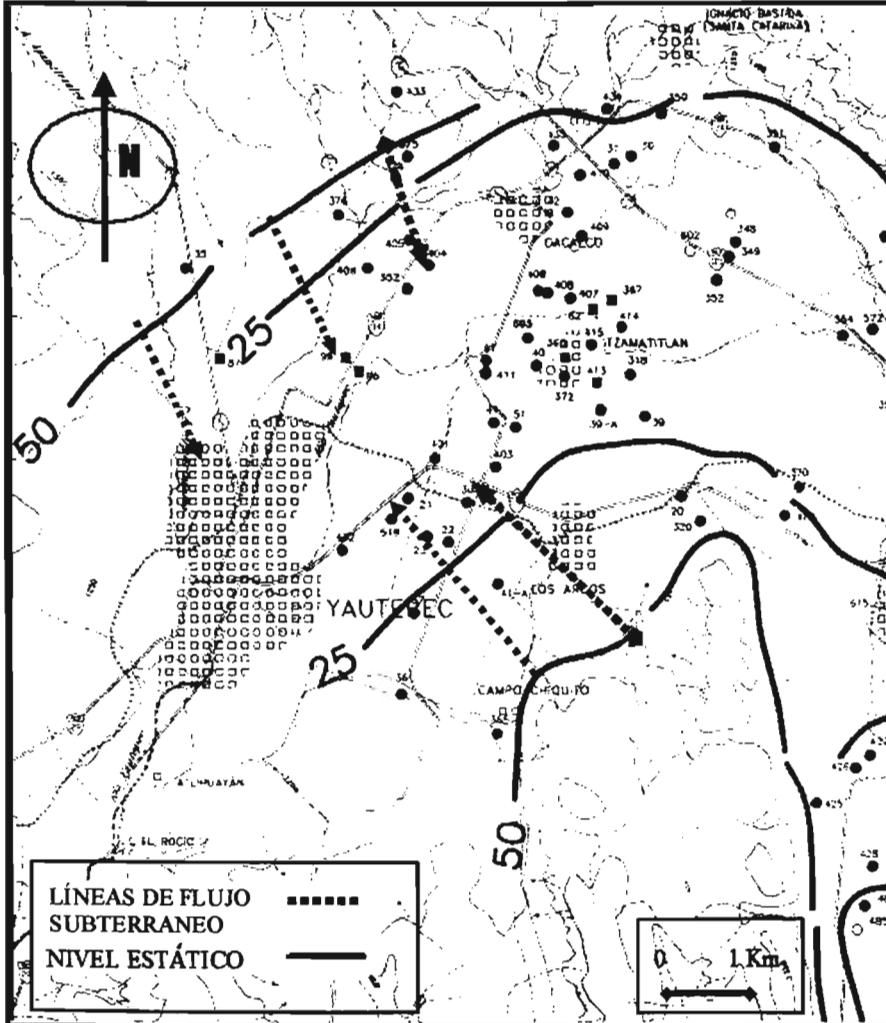


Fig. V.4. Niveles estáticos de agua subterránea (INRA, 1996).

6.- OBRAS CIVILES PARA ENCAUZAR Y REPRESAR CAUDALES DE ESCURRIMIENTO

6.1.- ANTECEDENTES.

La pendiente del río es mayor en las partes altas y es mínima cuando cruza la parte del zócalo de Yautepec, ya que este poblado se encuentra en una parte topográficamente plana de 1200 m.s.n.m, lo que provoca estancamiento. La pendiente aumenta nuevamente a 2Km aguas abajo, en la parte donde cruza el río con el puente de la carretera Yautepec-Cuautla.

El área de inundación que provocó la creciente del río en septiembre de 2003 fue aproximadamente del 70% de Yautepec y la de mayor altura de agua, 1.68 m en el centro, en septiembre de 1998.

Se han realizado en el pasado obras para contener los caudales del río, como es el caso del aumento de bardas de mampostería en las riberas del río y modificación del cauce, sólo en la zona del centro de Yautepec. Estas obras han sido rebasadas por los caudales máximos registrados.

Los caudales máximos registrados en la estación hidrométrica Yautepec ubicada en el puente barrio de Iztlahuacán, sobre la carretera Ixtla-Cuautla a 2 Km. al noreste del centro de Yautepec, varían de 231 a 245 m³/s. El agua de escurrimiento fue colectada a una superficie de 1035 Km² y los receptores principales son el río Yautepec y la barranca Apanquetzalco. Ambas corrientes escurren preponderantemente sobre rocas basálticas de la Formación Chichinautzin y en un porcentaje mínimo sobre depósitos recientes de delgada cobertura.

Sobre los cauces del río Yautepec y la barranca Apanquetzalco no hay fracturas, fallas, o depósitos de piroclastos permeables con capacidad de infiltrar en ellas avenidas de lluvias torrenciales de corta duración que desborda la superficie de los cauces. Solo a 4.5 Km al noroeste del centro de Yautepec se localizó un frente de lava basáltica en forma de herradura de 20 a 70 m de alto, la que un cierre artificial de 140 m de longitud y 5 metros de altura podría almacenar 2, 343,750 m³ de agua derivados de la barranca Apanquetzalco.

El entubamiento del río es una alternativa de solución eficiente, para evitar las frecuentes inundaciones, donde se presenta la roca volcánica que impide el libre flujo. Al estar entubado el río, el gasto se comportaría constante, ayudando a desalojar el agua más rápido y disminuir los estancamientos.

Las alternativas para encauzar y represar los caudales de avenidas en los ríos Yautepec y arroyo Apanquetzalco son las siguientes:

6.2.- RÍO YAUTEPEC.

En este río han sucedido avenidas extraordinarias en 1985, 1995, 1998 y en el año 2003. De este último no están disponibles a esta fecha los datos de avenida. Los eventos de los años anteriores se reseñan a continuación.

Se inicia esta reseña con el caudal máximo de 245m³/s escurrido en el 22 de septiembre de 1985 de manera repentina a las 02:00 hrs. En las siete horas siguientes escurrieron caudales de 245, 160, 90, 66, 59, 42 y 34 m³/s, por lo que se toman como lapso de escurrimiento extraordinario 7 horas.

En 1995, 21 de agosto, el caudal de avenida se inició a las 8:00hrs, se incrementó a las 12:00hrs 89 m³/s, 107 m³/s a las 13:00hrs, 177 m³/s a las 17:00hrs, 195 m³/s a las 18:00hrs, 231 m³/s a las 20:00hrs, 163 m³/s a las 23:00hrs y 141 m³/s a las 00:00hrs del día 22. En este acontecimiento de lluvia extraordinaria, su lapso de caudales de avenida fue también de 7 horas.

El 4 de septiembre de 1998, el inicio de la avenida ocurrió a las 20:00hrs con 55 m³/s, aumentando a 58 m³/s a las 21 horas y m³/s a las 23 horas. El día 5 se tuvieron los siguientes caudales: 74 m³/s a las 0:00Hrs, 84 m³/s a las 2:00hrs, 90 m³/s a las 3:00hrs, 95 m³/s a las 4:00hrs, 101 m³/s a las 5:00hrs, 80 m³/s a las 6:00hrs y 60 m³/s a las 7:00hrs. Este evento de avenidas extraordinarias transcurrió en 10 horas. Ver Fig. VI.1

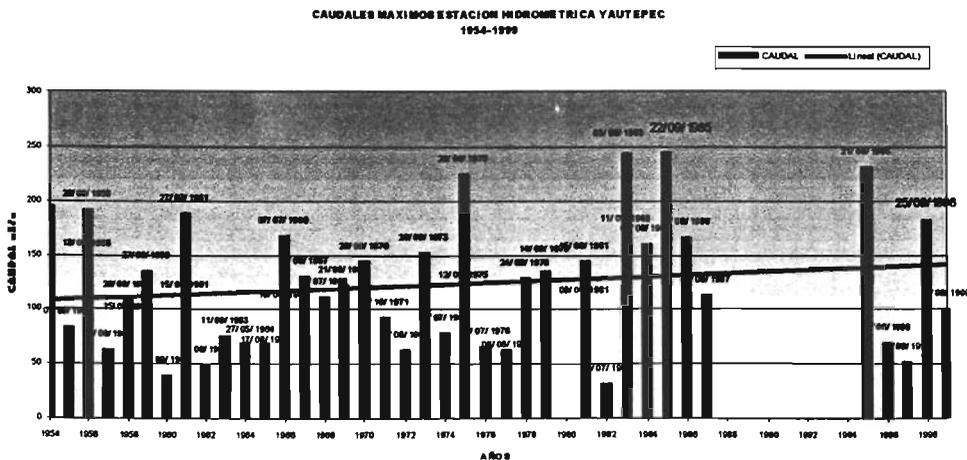


Fig. VI.1 Caudales Máximos Estación Hidrométrica Yautepec (Bandas, 1999)

Para el control o contención de avenidas similares en tiempos y caudales se propone una obra de encauzamiento en el cauce del río Yautepec, que conduciría los caudales escurridos en río y los proveniente de las zonas críticas Los Arcos, Oacalco y Colonia Obrera.

Las superficies transversales al río ocupadas por las avenidas van de 6.53 m (lectura de escala), 195 m³/s el día 2 de octubre de 1954 y de 10.0 m el día 28 de septiembre del 2003, para esta no hay datos de escurrimiento y el de altura fue proporcionado en forma verbal por el aforador. Se puede observar en la Fig. VI.2.

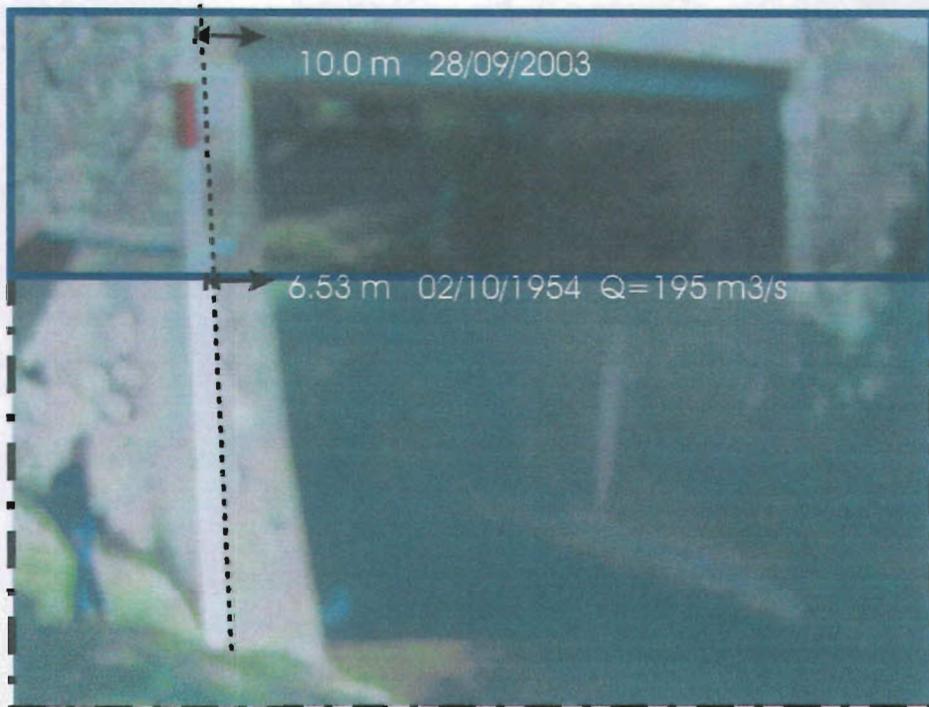


Fig. VI.2. Estación Hidrométrica Yautepec, limnígrafo y alturas extraordinarias.

Con estos datos de caudales máximos, tiempos de duración y área promedio de sección del río, se escogió el diámetro de un conducto de encauzamiento del río para la avenida máxima de 245 m³/s. El tramo de encauzamiento se inicia 775 m aguas abajo de la estación hidrométrica y termina 350m aguas abajo del puente de la carretera Yautepec-Cuautla y tiene una longitud total de 5.175 Km.

Para el encauzamiento se sugiere una tubería de acero de 5m de diámetro y un espesor adecuado para resistir una presión máxima de 1Kg/cm², y una velocidad media de 5 m³/s se podrían encauzar 98 m³/s. Este caudal forma el 40% de la avenida máxima ocurrida hasta

1998. De hacerse esta obra la sección de escurrimiento libre en el cauce se reduciría a la mitad, en consecuencia, la velocidad de escurrimiento aumentaría y la superficie podría ser insuficiente y originarse desbordes. Para evitar este último efecto negativo, se recomienda dragar el cauce del río en su trayecto a través del centro de la población y ampliar el cauce si los afloramientos de basalto en el cauce y ambas márgenes lo permiten. La disminución del $98 \text{ m}^3/\text{s}$ libres sobre el río es una disminución sustancial de riesgo para el centro de la población. La obra de encauzamiento se puede ver en la Fig. VI.3. y VI.4.

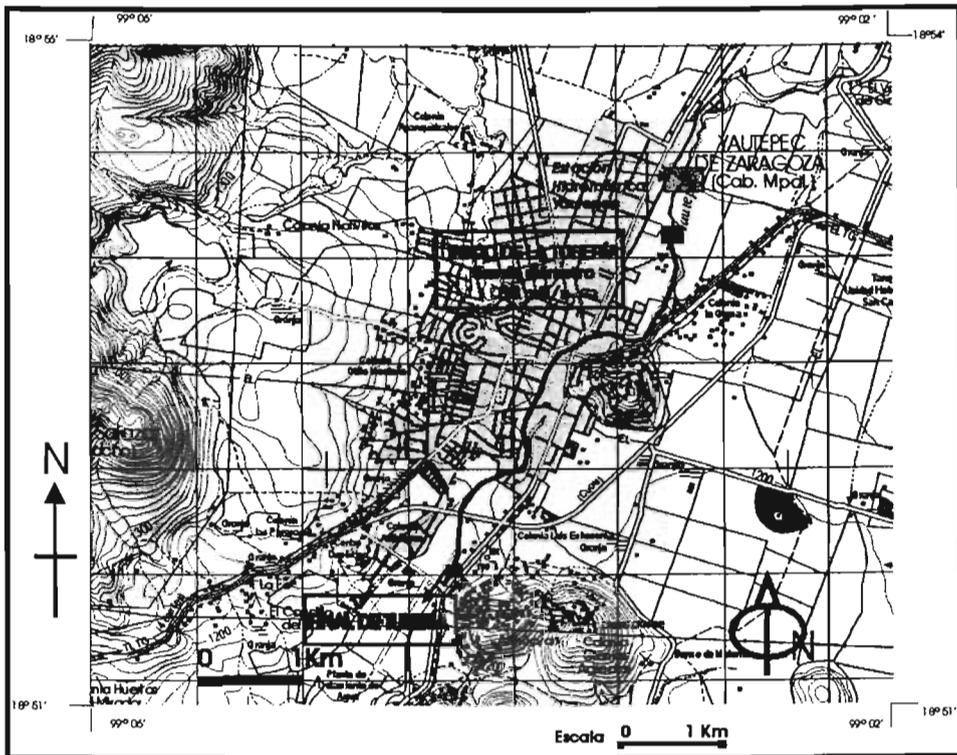


Fig. VI.3. Obra de encauzamiento entubado (INEGI, 1998).

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

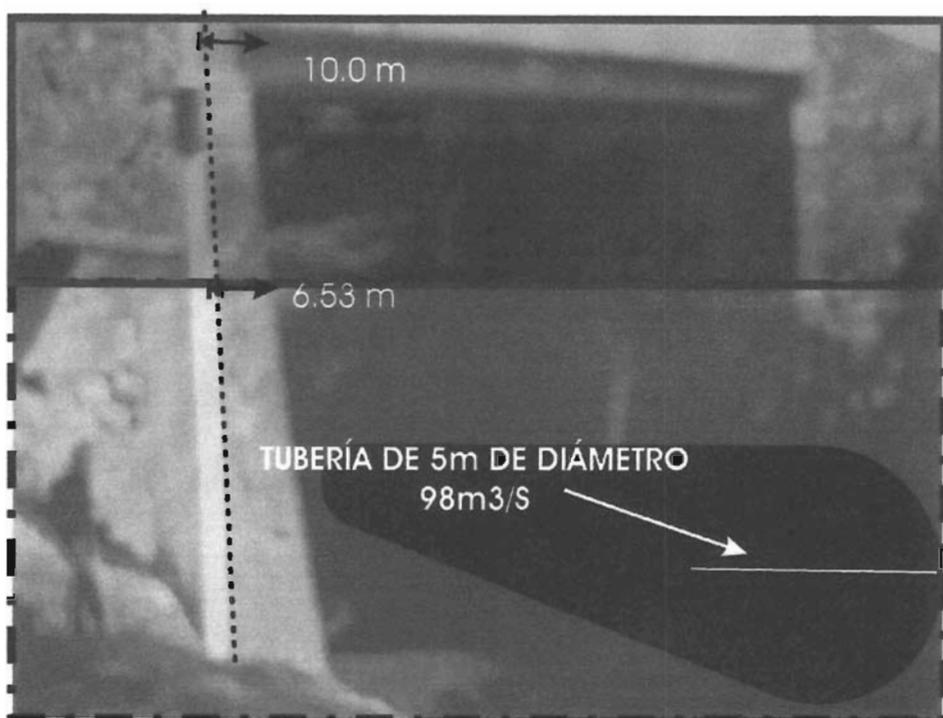


Fig. VI.4 Tubería propuesta en el río Yautepec

6.3 BARRANCA APANQUETZALCO.

Este tributario del río Yautepec confluye con éste en la parte central del poblado. Sobre este arroyo no hay estaciones hidrométricas y por tanto no se tienen registrados los montos de sus avenidas. En esta tesis se estimaron estos volúmenes de acuerdo a los volúmenes precipitados en los Polígonos de Thiessen de las estaciones San Juan y Tepoztlán. El agua escurrida se obtuvo aplicando el coeficiente de escurrimiento de 0.33 calculado en el capítulo 3. La velocidad media de escurrimiento de avenidas extraordinaria se tomó en 2.5 m/s y con ello se calculó que el arroyo aporta un caudal estimado de 15 a 30 m³/s. La sección del cauce en el que escurre el agua captada en la sierra de Tepoztlán tiene dimensiones de 7.10m y 2m de alto.

Para controlar el caudal de la barranca Apanquetzalco que representa un alto grado de peligro al poblado de Yautepec, existe la alternativa combinada de contención, encauzamiento y almacenamiento en la depresión conocida como El Resumidero

Para la contención se propone rehabilitar la presa Amilcingo, la cual se encuentra a 500 m al sur de Amilcingo en las coordenadas 18°56'12.9" Latitud Norte y 99°05'03" Longitud

Oeste. Actualmente no se usa y está destruida la cortina en su margen derecha. La cortina es de mampostería de piedra y cemento, de 4m de altura en la parte central. En la margen izquierda se construyó un bordo de mampostería de 3 m de altura y una longitud de 350 m. El vertedor de demasías se encuentra en el centro de la cortina de mampostería y se tendría que rehabilitar, así como el mecanismo de la compuerta. La compuerta tiene dimensiones de 3.10 m de altura y 1.20 m de ancho. La salida de desfogue está a 8 metros aguas abajo por la barranca Apanquetzalco.

La segunda obra de ingeniería propuesta para disminuir el caudal en el cauce del río Yautepec, tiene como fin eliminar el arribo de las aguas de esta barranca Apanquetzalco mediante lo siguiente:

La obra consiste en hacer una toma en la margen derecha. Esta obra de toma es un tubo de 2 m de diámetro empotrado en la cortina, de donde partiría la conducción de 6.7 Km. a la depresión El Resumidero situada a 4.5 Km. al noroeste del centro de Yautepec. Ver Fig. VI.5.

El trazo de la tubería inicia a una altura de 1325 m.s.n.m de la obra de toma de la presa Amilcingo y termina en la parte norte del resumidero a una cota de 1290m. Para la conducción se propone seguir el trazo mostrado en la Fig. VI.6. La conducción se inicia entre las curvas de nivel 1330 y 1320 y cada kilómetro se disminuye 5 m la elevación de la tubería para conservar una pendiente de 5 al millar. Además se propone una tubería de acero 2m de diámetro capaz de resistir una presión de 3.5 Kg/cm².

Un caudal de 15 m³/s que se derivara en once horas de escurrimiento, que es el tiempo estimado para lluvias torrenciales en esta corriente, daría como resultado un volumen de 594 000 m³. Para represar este volumen se propone la construcción de un bordo de 140 m de longitud y 10 metros de altura que cerraría El Resumidero en su porción Este. El sitio propuesto se muestra en la Fig. VI.6.

No se conoce la conductividad hidráulica del basalto del Resumidero, tanto de las paredes como del fondo, por lo que sería conveniente efectuar pruebas Lugeon para estimar el monto de volúmenes de infiltración. El agua almacenada también podría derivarse para riego.



Fig. VI.5 Obra de toma Presa Amilcingo

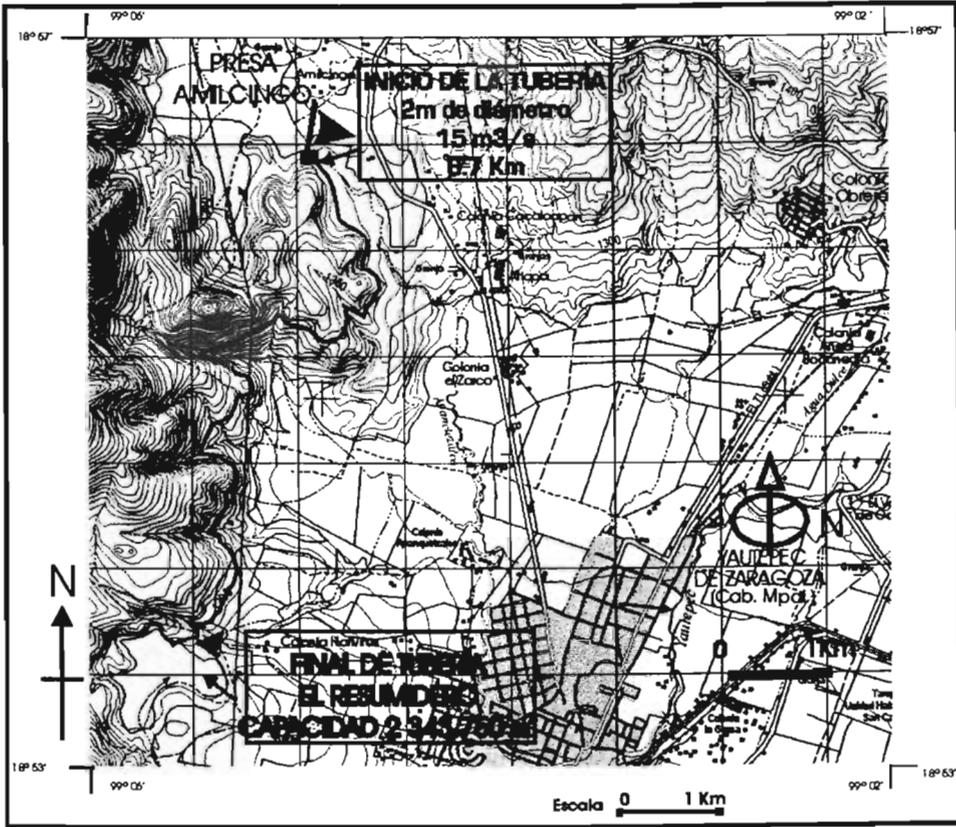


Fig. VI.6. Obra de conducción al Resumidero (INEGI, 1998).

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

PRIMERA

El registro de lluvia en 20 estaciones de la subcuenca Yautepec muestra un incremento de 20%. De 1990 al año 2000.

SEGUNDA

Los caudales máximos medidos en la estación hidrométrica Yautepec, son de 182 m³/s en septiembre de 1998, 243 m³/s en junio de 1985 y 245 m³/s en septiembre de 1985.

TERCERA

En 44 años de registros de escurrimiento en la estación hidrométrica Yautepec, se observa un incremento de escurrimiento de 28%. Este incremento tiene mayor peso en los últimos 20 años.

CUARTA

El coeficiente de escurrimiento calculado para la subcuenca de Yautepec es de 33%. Es decir la tercera parte de la lluvia es colectada por el río Yautepec.

QUINTA

La profundidad al nivel de agua subterránea es somera (25 a 50 m) y en consecuencia la carga de presión es reducida, por lo que la infiltración de excedentes de escurrimiento del Río Yautepec en pozos de absorción, zanjas excavadas en aluvión y los basaltos de la Formación Chichinaultzin no es factible.

SEXTA

Las condiciones geológicas e hidrogeológicas son desfavorables para infiltrar caudales mayores de 100 m³/s de escurrimientos superficiales en tiempos de avenidas de 4 y 7 horas en la zona de estudio.

SÉPTIMA

La única estructura viable para infiltrar y almacenar agua de escurrimiento es un frente de lava basáltica de forma de herradura de 60 m de altura conocida como El Resumidero 4.5 Km. al NW de Yautepec.

OCTAVA

Obras de ingeniería civil de encauzamiento y almacenamiento son las alternativas más viables para la reducción de caudales de avenidas extraordinarias en el río Yautepec y barranca Apanquetzalco.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

NOVENA

Las obras de ingeniería se proponen para el río Yautepec y la barranca Apanquetzalco. Con estas obras es posible disminuir $90 \text{ m}^3/\text{s}$ y $15 \text{ m}^3/\text{s}$ de escurrimiento en el río Yautepec, es decir el 50% de escurrimiento libre en el cauce.

DÉCIMA

Si se toma en cuenta que los caudales escurridos en la estación hidrométrica Yautepec tiene una tendencia a aumentar rápidamente, muy probable que en los próximos años se tengan inundaciones cada vez más graves.

RECOMENDACIONES

PRIMERA

Dependiendo del espesor del azolve dragar el cauce del río en su trayecto a través del centro de la población y ampliar el cauce si los afloramientos de basalto en el cauce y ambas márgenes lo permiten.

SEGUNDA

Construir una conducción de 6.7 Km. de longitud de un punto situado aguas abajo de la estación hidrométrica Yautepec a aguas abajo de la intersección del puente Yautepec-Cuautla. El conducto sería una tubería de concreto o acero de 5 m de diámetro con una pendiente del 1%. El caudal que circularía por el conducto sería del orden de $90 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta canalización disminuiría el 30% del caudal de la máxima avenida con lo cual se calculó, que los $155 \text{ m}^3/\text{s}$ restantes serian encauzados por el río sin desbordarse.

TERCERA

Reconstruir la cortina de la margen derecha de la presa Amilcingo. En este tramo de la cortina hacer la obra de toma para una tubería de 2 m de diámetro.

CUARTA

Hacer un levantamiento topográfico detallado para afinar el trazo de la tubería de conducción y establecer una pendiente mínima de 1% de la presa Amilcingo hasta la depresión El Resumidero. El caudal que se encauzaría sería del orden de $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

QUINTA

Proteger con un sistema de tamicos la entrada de los tubos en ambas conducciones, para evitar en todo lo posible la entrada de clásticos.

SEXTA

Construir en la depresión El Resumidero un bordo de 140 m de longitud y 10 metros de altura que cerraría la porción Este.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

SÉPTIMA

En el centro de la depresión El Resumidero hacer 5 pozos de 4" de diámetro, y profundidad de 20 m para realizar en ellos pruebas de permeabilidad Lugeon (Castany, G. 1967), con el fin de conocer el valor de la conductividad hidráulica del basalto.

OCTAVA

El agua almacenada puede utilizarse para derivar agua para riego o también para recargar acuíferos en fracturas profundas del basalto

NOVENA

Hacer 20 sondeos eléctricos verticales con una profundidad mínima de 150 m con el propósito de conocer a esa profundidad las características de fracturamiento de la Formación Morelos y la eventual construcción de pozos para inyección profunda del agua del río Yautepec

DÉCIMA

Realizar un proyecto de factibilidad técnica y económica con el propósito de conocer la viabilidad del plan propuesto en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, 1997; Fundamentos de Hidrología Superficial, Ed. Limusa, novena reimpresión, México, pp. 43-44, 47-56, 113-152, 177-179, 203-210.

Bandas, 1999; Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA). Sistema de Información de Aguas Superficiales, Información de la estación hidrométrica Yautepec y Ticumán, Morelos de 1949-2000. México.

Castany, G. 1967 ; *Traité Pratique des Eaux Souterraines* ed. Dunod, 2ª Edición, pp. 14-15. Paris.

Consejo de Recursos Minerales (COREMI); Mapa Geológico de Morelos 2000; Escala 1:100 000, estado de Morelos.

Consejo de Recursos Minerales; México. Monografía Geológico-Minera del estado de Morelos, 2000.

Eric II. 1999; Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA). Programa de base de datos de estaciones climatológicas de Morelos, Distrito Federal, y estado de México de 1968-1999.

Estadísticas del Agua en México, 2004; Ed. Comisión Nacional del Agua, Segunda Edición, México.

Espinosa Amado, E. 1971; Estudio hidrogeológico de una porción de la vertiente occidental del Iztaccihuatl, municipio de Tlalmanalco estado de México, Tesis Profesional. México, pp. 42-43.

Fries, C. 1960; Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero región central meridional de México. Instituto de Geología. UNAM, Boletín 60, México, pp. 23-25, 44-130.

Hidrología de las Aguas Superficiales. 1963; Tomo III. Capitulo Cuarto "Hidrología de las Aguas Superficiales" ed. Secretaria de Recursos Hidráulicos. pp. 4-28,4-29, 4,30.

INRA, S.A. COSULTORES, 1996; Estudio Geohidrológico de la Zona Cuautla-Yautepec, Morelos, Ed. CNA, México.

INRA, 1996; "Plano No.10. Profundidad al Nivel Estático", Esc. 1: 50 000 Estudio Geohidrológico de la Zona Cuautla-Yautepec. Morelos.

INEGI, 2000. Información Estadística del estado de Morelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2001; Carta Geológica Cuernavaca, E-14-A-59, Escala 1: 50 000, Cuarta Impresión, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1983; Carta Hidrológica de Aguas Superficiales ciudad de México, E-14-2, Escala 1: 250 000. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1983; Carta Hidrológica de Aguas Superficiales Cuernavaca, E-14-5, Escala 1: 250 000. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1998; Carta Topográfica Cuernavaca, E-14-A-59, Escala 1: 50 000, 2a. Digitalizada.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1998; Carta Topográfica Cuautla, E-14-B-51, Escala 1: 50 000, 2a. Digitalizada.
- Jaimes P. L. R. 1989; Isótopos Ambientales Aplicados al Agua Subterránea de las Cuencas de los ríos Apatlaco y Yautepec, estado de Morelos. Tesis Profesional, México. pp. 72-74, 123.
- Jiménez B y Marín L. 2004; EL Agua en México Vista desde la Academia. Ed. Academia Mexicana de Ciencias, 1ª. Edición, México, pp. 31-52.
- Magaña Rueda, Víctor O. 1999; Los impactos de El Niño En México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, México. pp. 3-13, 23-24, 29-33, 39-44, 57-58.
- Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos. 1994; Comisión Nacional del Agua (CNA). Ed. CNA, México. pp. 3-30.
- Monsalve Sáenz, G. 1999; Hidrología en la Ingeniería. Ed. Alfaomega, 2ª Edición, Colombia, pp. 83-84.
- Morán Zenteno, D. J. 1985; Geología de la República Mexicana, Facultad de Ingeniería UNAM, 2ª Edición, México, pp. 55-59.
- ROASA, 1981; Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Cuautla-Yautepec, Morelos, Ed. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Servicios Geológicos, S.A. 1969; Estimación Preliminar de los Recursos de Agua Subterránea en las Subcuencas Pertenecientes a La Cuenca del Alto Amacuzac. Estado de Morelos, México, pp. 5-6, 11-57.
- Servicio Meteorológico Nacional, 2000; Base de Datos de Estaciones Climatológicas de Morelos, Distrito Federal y estado de México de 1968-2003.
- Price, Michael. 2003; Agua Subterránea, ed. Limusa, Primera Edición, México, pp. 30-38.
- <http://www.cdc.noaa.gov>. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.inegi.gob.mx/inegi>. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

<http://www.cna.gob.mx>. Comisión Nacional del Agua.

<http://www.coremisgm.gob.mx/> Consejo de Recursos Minerales.

<http://www.prodiversitas.bioetica.org/des34.htm> El Niño y La Niña.

<http://www.amc.unam.mx/laciencia/geo-esp6.htm> Centro de ciencias de la Atmósfera – UNAM.

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_update/sstweek_c.gif