



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA



GEOMORFOLOGIA FLUVIAL EN EL CURSO BAJO DEL RIO PANUCO: IDENTIFICACION DE AREAS PROPENSAS A INUNDACION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A ,

RAFAEL ARAGON GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE LOPEZ BLANCO



MEXICO, D.F.

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS COLEGIO DE GEOGRAFIA

2005

m. 346684



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico este trabajo a mis padres

Elisa González Pacheco y José Rafael Aragón Silva

A mi hermano

Israel Aragón González

Gracias por su apoyo y por ser lo más importante en mi vida

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge López Blanco le agradezco su apoyo, el tiempo que invirtió en este estudio, sus comentarios propositivos y también todo lo que he aprendido al trabajar junto a él.

A mis sinodales la Mtra. Oralia Oropeza Orozco, al Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez, al Dr. José Ramón Hernández Santana y al Dr. Lorenzo Vázquez Selem por haber enriquecido este trabajo con sus valiosos comentarios y observaciones.

Al M.C. Gilberto Vela Correa por ayudarme con el análisis textural de las muestras de sedimentos y por facilitarme las instalaciones del laboratorio de la UAM Xochimilco.

A la Mtra. Andrea Herre y la Dra. Kumi por su apoyo en el laboratorio de suelos del Instituto de Geología.

A mis maestros de la licenciatura de Geografía, en especial a Gabriela Vera, Alfredo Victoria Cerón, Roberto Juárez Carrejo, Jaime Morales, Dr. Ignacio Kunz, Dra. Carmen Valverde, Dr. José Juan Zamorano Orozco, Dra. Graciela Uribe y al Mtro. Gilberto Núñez, por ser una parte fundamental de mi desarrollo académico.

A la Dra. Atlántida Coll-Hurtado por haber sido una pieza fundamental en mi llegada al Instituto de Geografía y por sus valiosos consejos.

A mis amigos Lic. Alejandro Pérez García y Lic. Sergio Salinas Sánchez por todo su apoyo, tanto en este trabajo como en la vida personal.

A Miguel y René del Laboratorio de SIG y Percepción Remota del Instituto de Geografía por proporcionarme y ayudarme con el material cartográfico.

A la Lic. Guadalupe Tapia Varela y al Lic. Miguel Castillo Rodríguez por ayudarme a resolver todas las dudas que me surgieron en el manejo de los SIG y en la edición de los mapas.

A mi mejor amiga Mariana López Ochoa por ser la persona que siempre está cuando necesito un consejo y un apoyo.

A mis amigos de la licenciatura, el Lic. Jonatan Omar González Moreno, Lic. Omar Esteban Chávez, Raúl Gutiérrez, Cibeli Enríquez Nieto, Lic. Pablo Flores y Mili por todos los buenos momentos que pasamos a lo largo de la carrera y su motivación durante este trabajo.

Al Lic. Pedro Montes Cruz, Osvaldo Franco Ramos, Miguel Santos, Alberto López González, Ana Medrano, Cristina y Liz por ser un buen equipo de trabajo.

A mis amigos Héctor, Armando, Beto, Mirna, Adriana, Aleli, Iris y Susana del CCH Vallejo por compartir una de las mejores etapas de la vida y por sus comentarios de aliento.

A mis amigos de la secu Ale (Petro), Iris (China) y Gaby por conservar su amistad.

A Frederique por ser una de las personas más cercanas a mí en la última etapa de este trabajo y por los buenos momentos que hemos pasado que han hecho, que esta espera sea una etapa agradable.

A Sayda Olivia Rojo Guerrero, Gaby, Bety y Montserrat por haber sido parte de mi vida y con quienes pasé momentos muy especiales, tanto buenos como muy malos.

A Elizabeth, Sara, Lariza y Paty por ser personas a quienes estimo y que aunque he tenido poco contacto, han tenido una gran influencia en este trabajo.

A Giovanni, Loxa, Carlos, Miguel, Ivette, Emmanuel, Leila, Yazmin, Mario, Andrea (la tía) Paola (Negra), Euridice (Eureka), Elisa, Dulce, Rocio (Trabajo Social), Adriana (Vet) Mara, Rocio (Ags), Diana (Aca), Andrea (BC), Gaby (Gld) y Paty (Gld) con quienes tuve pocas conversaciones del trabajo, pero sus comentarios siempre fueron motivadores.

Muchas gracias a todos ustedes y a los que me faltaron, ya que este trabajo en gran o en poca medida tiene algo suyo.

MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	3
1. CAPÍTULO 1. MARCO GEOGRÁFICO	
1.1. Localización, límites y extensión	5
1.2. Clima	6
1.3. Hidrología	6
1.4. Geología	9
1.5. Edafología	12
1.6. Vegetación	15
1.7. Medio socioeconómico	15
1.8. Conclusiones de este capítulo	16
2. CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	
2.1. Introducción	20
2.2. Revisión bibliográfica y cartográfica	22
2.3. Elaboración de la cartografía	22
2.4. Hidrología	25
2.5. Meteorología	31
2.6. Geomorfología	32
2.7. Identificación de áreas propensas a inundación	41
3. CAPÍTULO 3. HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA	
3.1. Introducción	43
3.2. Hidrología	44
3.3. Meteorología	45
3.4. Características de las inundaciones	47
3.4.1. Conclusiones de este subcapítulo	54

3.5. Análisis hidrológico (Resultados del procesamiento estadístico)	54
3.5.1. Conclusiones de este subcapítulo	60
3.6. Influencia de la cuenca del río Tempoal	61
3.6.1. Conclusiones de este subcapítulo	98
4. CAPÍTULO 4. GEOMORFOLOGÍA	
4.1. Introducción	99
4.2. Unidades geomorfológicas	100
4.3. Índice de sinuosidad (IS) del curso bajo del río Pánuco	115
4.4. Distribución textural	118
4.4.1. Conclusiones de este subcapítulo	126
4.5. Identificación de áreas propensas a inundaciones	126
CONCLUSIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXO A	139
ANEXO B	156
ANEXO C	158

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son los fenómenos naturales más recurrentes y con la mayor capacidad destructiva. En 1999 fueron responsables del 85% de las pérdidas económicas a nivel mundial (DIRDN GLOBAL, 1999). Los lugares en donde se han producido las inundaciones con mayores daños en la historia son los ríos de China, en donde en 1887 se estimó la pérdida de hasta 6,000,000 de personas de forma directa e indirecta (Suárez y Regueiro, 1997).

Las inundaciones en México son un fenómeno que se presenta todos los años por diferentes causas y de diferentes maneras. Ortiz et al. (1989) mencionan, que en México existen cuatro tipos de inundaciones según el régimen de lluvia: intermedio con influencia de ciclones tropicales en verano y de "Nortes" en invierno; de verano con mayor influencia de ciclones tropicales; de invierno con influencia de mareas; y por último, cualquiera de los regímenes pluviométricos anteriores con influencia marina. En la década de 1990 al 2000, las inundaciones se han presentado con mayor fuerza en diferentes estados de la República Mexicana. Tan sólo en 1999 se presentaron las peores inundaciones en 40 años en 9 de las 32 entidades, en donde murieron más de 500 personas y más de 300,000 resultaron damnificadas. Los estados más afectados en 1999 fueron Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz (El Universal, 22-jul-1999).

En el estado de Veracruz se presentaron alrededor de 450 inundaciones en el periodo de 1950 a 1989, siendo el estado con más inundaciones en esos años y con más de 3.5 inundaciones anuales de diferentes tipos (Ortiz et al., 1989). En 1999 las inundaciones en Veracruz afectaron a la población de 83 municipios y la infraestructura de caminos y puentes en otros 23 municipios más (MCD, 2000).

Al Norte del estado de Veracruz las inundaciones han causado severos daños a la infraestructura de caminos, así como a los diferentes cultivos. Por lo menos en ocho ocasiones desde 1955 se han presentado inundaciones de una gran magnitud, es por esto mismo la importancia de realizar un estudio geomorfológico fluvial del curso bajo del río Pánuco.

El presente trabajo cuenta con dos áreas de estudio, el área específica y el área general, la primera abarca la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco, mientras que la segunda abarca a la primera y a la cuenca del río Tempoal. Estas dos áreas cumplen diferentes objetivos particulares, en beneficio del objetivo principal.

El área específica de estudio es aquella en la que se presenta el problema de las inundaciones, que de acuerdo con los trabajos de Mansilla (1994) y el de Salas (1992) han ocurrido ocho inundaciones desde 1955, pero al revisar los datos hidrométricos se observó que existieron tres años más, con gastos muy elevados que seguramente también originaron una inundación. Asimismo, el área específica es donde se realiza el levantamiento geomorfológico fluvial, que ayuda a definir las diferentes áreas propensas a inundación, así como la dinámica fluvial que existe durante las inundaciones en cada una de las diferentes unidades geomorfológicas fluviales.

En cambio, el área general de estudio abarca la cuenca del río Tempoal, que es en donde se presenta parte de las precipitaciones que generan gastos elevados, que a su vez, influyen en las inundaciones que ocurren en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

La tesis se ha dividido en cuatro capítulos, el primero es una introducción general del área específica de estudio, con el fin de presentar las características físicas que influyen o que son resultado de las inundaciones, así como también se muestran las características sociales, de una manera muy general, que son afectadas por estas mismas inundaciones.

En el capítulo 2 se describen los métodos y técnicas que fueron utilizados para el desarrollo del presente trabajo, a su vez, se definen algunos conceptos importantes con el fin de explicar los diferentes procesos fluviales que ocurren en la llanura fluvial.

El capítulo 3 es el más extenso de todos, ya que es una descripción hidrológica y meteorológica del área de estudio, también porque es en donde se describen las características de cada uno de los ocho años con inundaciones (1955, 1958, 1966, 1967, 1969, 1976 y 1993), considerados por Mansilla (1994) y Salas (1992), así

como los tres años (1956, 1975 y 1978) en los que se observaron gastos elevados a partir del análisis de los datos hidrométricos de la base de datos de BANDAS (1997). Este capítulo, también arroja los primeros resultados de este estudio, los cuales son del análisis hidrológico realizado a los datos registrados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco, así como también del análisis sobre la influencia de la cuenca del río Tempoal en las inundaciones que ocurren en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

El capítulo 4 es la parte del trabajo en donde se realiza la descripción de las unidades geomorfológicas fluviales de la llanura del curso bajo del río Pánuco, también es donde se muestran los resultados del análisis textural de los sedimentos de los 29 sitios de muestreo que se realizaron durante el trabajo de campo. Por último, se presenta la delimitación de las áreas propensas a inundación a partir de la evaluación geomorfológica fluvial, el análisis textural de los sedimentos y el análisis hidrológico, a su vez, se basa en los niveles altitudinales y en los resultados interpretativos de la imagen de satélite procesada.

HIPÓTESIS

Existe una diferenciación espacial marcada entre las diferentes áreas propensas a inundación en el curso bajo del río Pánuco, debido a las condiciones topográficas y a la dinámica geomorfológica fluvial.

La influencia de las lluvias de origen ciclónico es alta y además es la principal generadora de las inundaciones que ocurren en el curso bajo del río Pánuco.

De las tres cuencas hidrográficas que tienen influencia en las inundaciones del curso bajo del río Pánuco, la cuenca del río Tempoal es la que más influye, a pesar de que tiene la menor extensión de las tres.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Identificar las áreas propensas a inundaciones, en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, a partir de una evaluación geomorfológica fluvial y con base en el análisis de la información hidrológica y meteorológica.

Objetivos particulares:

Elaborar el mapa de unidades geomorfológicas fluviales del curso bajo del río Pánuco, a partir de la aplicación de los criterios de tipo morfogenético basados en técnicas de fotointerpretación.

Realizar el análisis hidrológico y climatológico para determinar un análisis de probabilidades, cálculo de periodos de retorno de avenidas máximas y respuesta hidrológica, por medio de los datos de las estaciones hidrométricas y meteorológicas.

CAPÍTULO 1. MARCO GEOGRÁFICO GENERAL

1.1. Localización, límites y extensión

El área específica de estudio se localiza al Norte del estado de Veracruz, dentro de la Región Hidrológica 26, en la planicie costera del Golfo de México, específicamente en el área de Tampico-Pánuco, entre las coordenadas extremas 22°18'37" - 21°52'30" Latitud Norte y 97°44'40" - 98°35'07" de Longitud Oeste (en coordenadas UTM 543000 – 630000 y 2419000 - 2467000 m de la zona 14). El área específica de estudio abarca sólo la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, desde la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón, hasta su desembocadura en el Golfo de México, y cuenta con una superficie aproximada de 2,866 km².

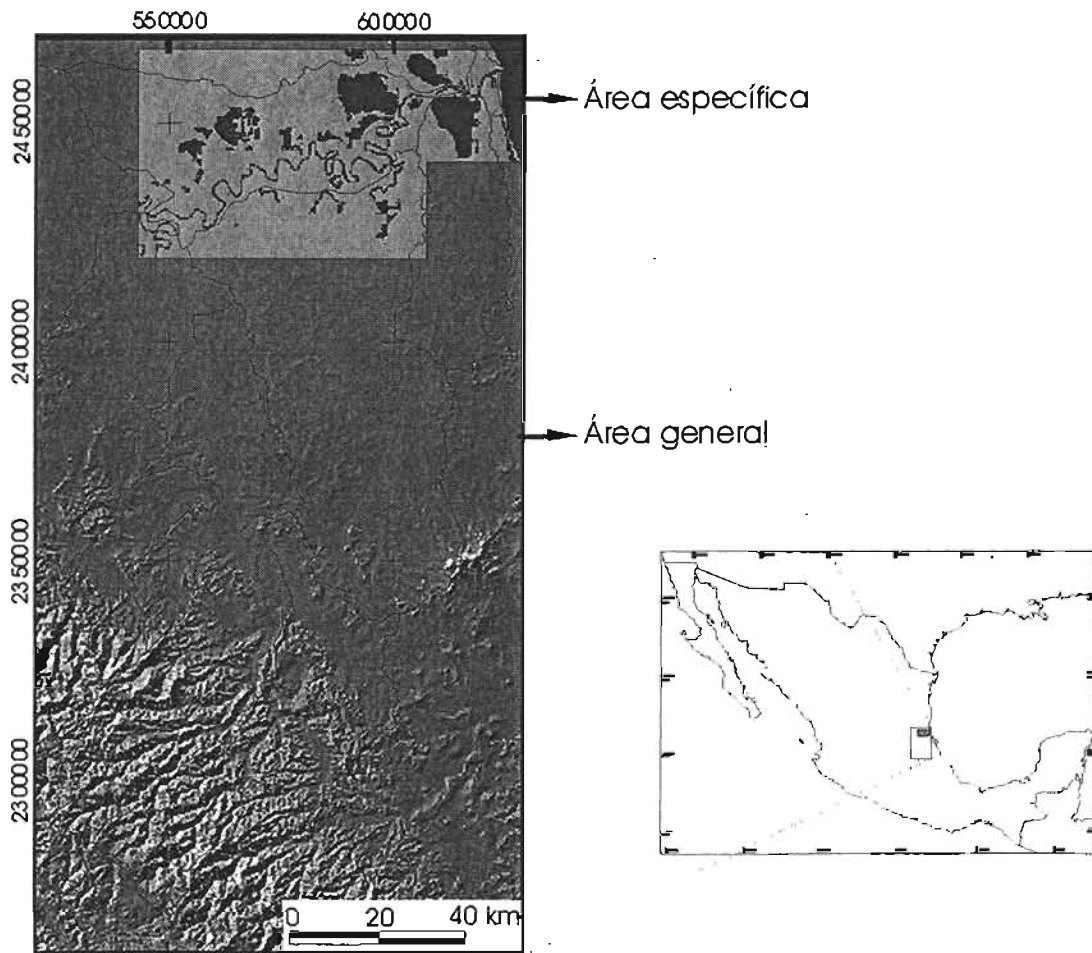


Figura 1.1. Localización del área específica con relación al área general de estudio.

1.2. Clima.

Según la modificación al sistema de clasificación climática de Köppen hecha por García (1988), en el área específica de estudio existe sólo el clima Aw (Figura 1.2), el cual se define como cálido subhúmedo con lluvias en verano y con una temperatura media anual entre 22° y 26°C, pero se presenta con tres diferentes coeficientes de precipitación-temperatura (P/T). El clima Aw₀ tiene un coeficiente menor de 43.2, es el más seco de los subhúmedos, en el área de estudio se extiende por toda la porción Norte y Oeste, es el más amplio de los tres. El Aw₁ tiene un coeficiente entre 43.2 y 55.3, esto quiere decir que es el intermedio, y en el área de estudio se extiende como una franja por gran parte del río Pánuco. Por último, el Aw₂ con un coeficiente mayor a los 55.3, esto quiere decir que es el más húmedo de los subhúmedos, es el menos amplio de los tres, y se puede observar en el Sureste del área.

En toda el área, a pesar de tener un régimen de lluvia en verano provocada por los ciclones, tiene un porcentaje entre 5 y 10.2% de precipitación invernal respecto a la total provocada por los "Nortes", esto quiere decir, que en la población de Tamos y sus alrededores donde llueven 1,200 mm anuales, en invierno se pueden registrar entre 60 y 120 mm. Al comparar estos valores de precipitación con los que se registran en la cuenca del río Tempoal (Figura 3.14), se puede observar que son valores muy bajos, que nos indican que las lluvias que dan origen a las inundaciones no ocurren en el área específica de estudio, sino en las cuencas periféricas.

1.3. Hidrología.

El cauce principal del área específica de estudio es el río Pánuco, fluye hacia el Este desde la confluencia de los ríos Tamuín y Moctezuma, hasta su desembocadura en el Golfo de México. El río Tamuín capta los escurrimientos provenientes del Norte y Oeste de la Región Hidrológica 26, y el río Moctezuma las provenientes del Sur, desde la ciudad de México (Figura 3.10, en el Capítulo 3). El río Pánuco es meandriforme, ya que es de cauce y canal único y con un índice de sinuosidad de 1.82 (Figura 4.21, en el Capítulo 4). En los límites de la llanura de inundación existen varias lagunas marginales (Figura 1.3), las más grandes son:

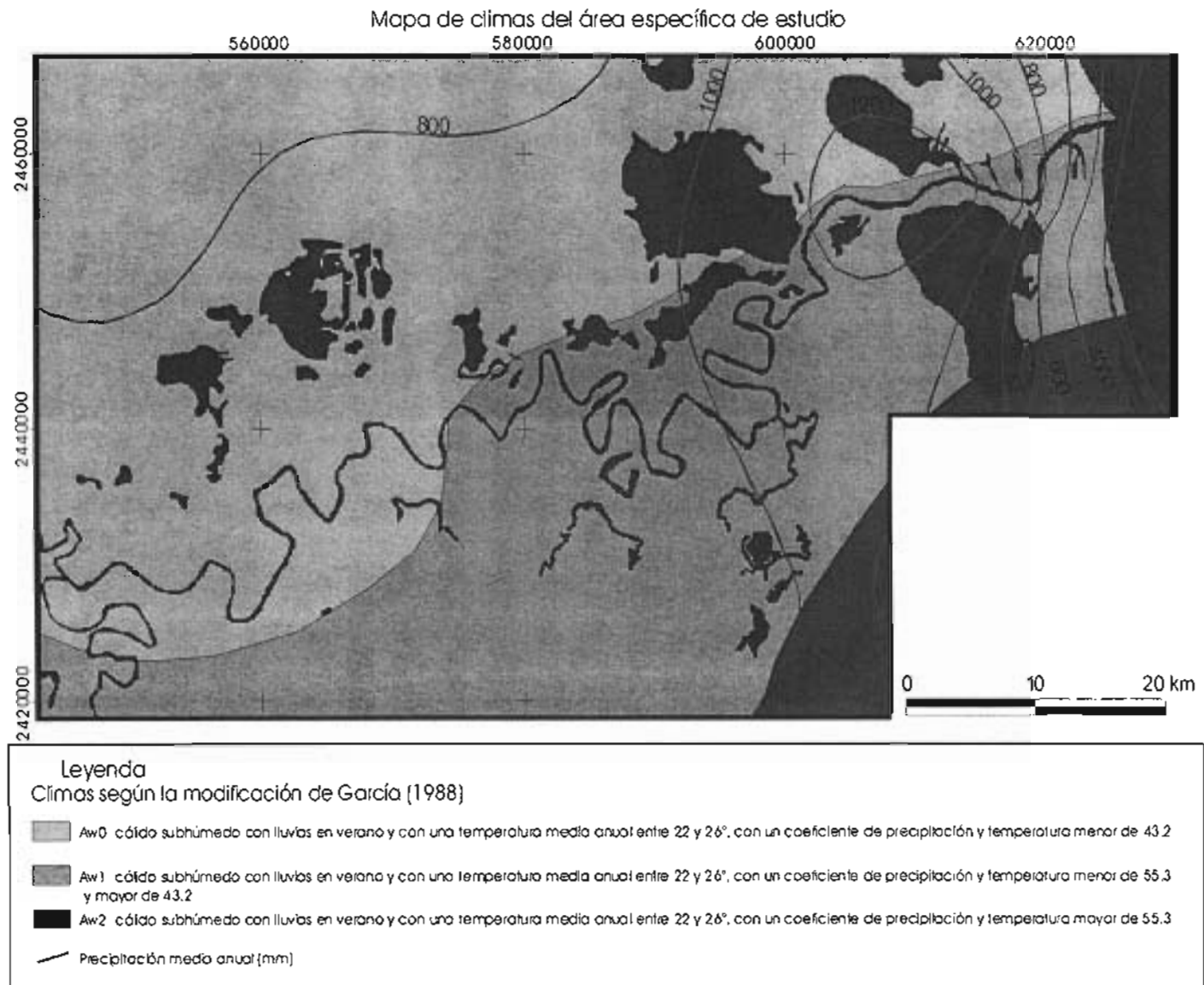
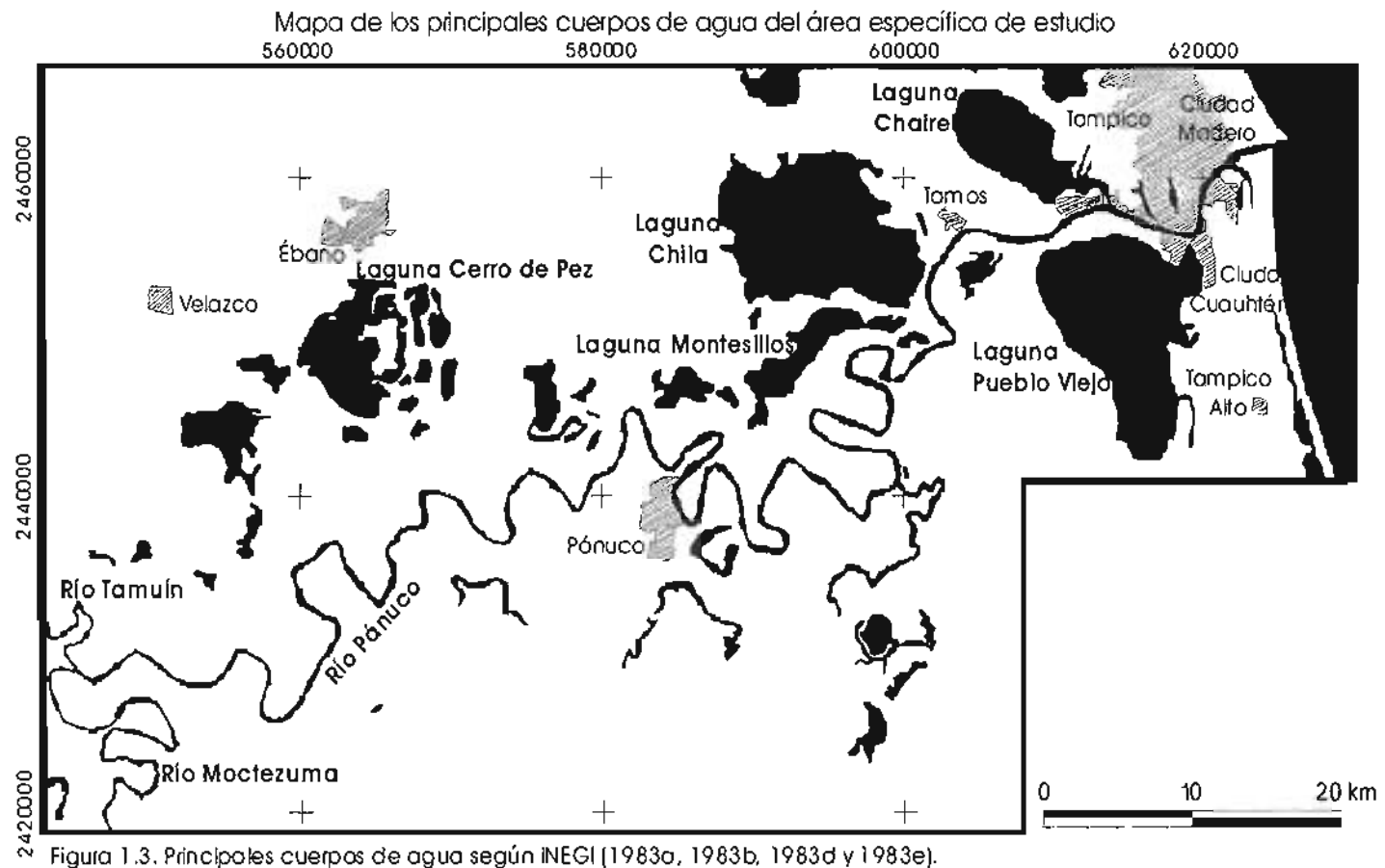


Figura 1.2. Tipos de climas según la modificación de García (1988).



Laguna Cerro de Pez, al Sur de la población de Ébano; las lagunas Chila y Montesillos, al Oeste de la población de Tamos, a la altura donde el río Pánuco presenta un mayor coeficiente de sinuosidad (Figura 4.21, Capítulo 4); y por último, a un costado de la ciudad de Tampico se encuentran dos lagunas, una al Norte del río Pánuco llamada Chairel y que, a su vez, pertenece al sistema de lagunas del río Tamesí, y la otra al Sur del río Pánuco y que es el cuerpo de agua más grande de todos, llamada Pueblo Viejo.

1.4. Geología (Unidades litológicas): Rocas Ígneas, Rocas Sedimentarias y Depósitos Cuaternarios.

El área específica de estudio, localizada dentro de la Planicie Costera del Golfo de México, presenta un paisaje fluvial, constituido por lomeríos, ondulaciones y planos ligeramente inclinados hacia el interior del Golfo de México. Es un área bien conocida geológicamente por todos los pozos petroleros que se han hecho para su extracción, y en términos generales, está formada por una secuencia, de Oeste a Este, por rocas sedimentarias arcillo-arenosas interestratificadas (Lugo, 1990).

Es una área geológicamente joven, existen unidades que comprenden desde el Cretácico Superior hasta depósitos del Cuaternario, básicamente son rocas sedimentarias las que presentan una mayor extensión en el área (Figura 1.4). A continuación se describen cada una de las unidades litológicas:

El basalto del Terciario Superior forma notables mesetas sobre los lomeríos, en donde cubre los depósitos mesozoicos y cenozoicos. Los basaltos alterados se explotan para material de relleno (Punto 8, Figura 1.4). En el área de estudio se representan en el 0.16%, y se localiza en pequeñas elevaciones, al Sur y Noroeste del área (INEGI, 1983a).

Las lutitas del Cretácico Superior representan a la formación Méndez, constituida por lutitas calcáreas, margas y algunos horizontes de areniscas y bentonita. La unidad tiene color gris con tonos verdes y se presenta en estratos medianos y gruesos (Punto 2, Figura 1.4). La unidad tiene una morfología de lomeríos al centro-norte del área de estudio (INEGI, 1983b).

Las lutitas del Paleoceno están formadas por lutitas calcáreas de color gris con tonos verdes intercalados con algunas margas y esporádicas areniscas calcáreas (Punto 3, Figura 1.4). Estas lutitas constituyen la formación Velasco, la cual descansa discordantemente a la unidad arcillosa del Eoceno, y presenta intercalaciones persistentes de areniscas calcáreas en estratos delgados y medianos de color café con tonos rojizos, algunas presentan huellas de oleaje y restos de plantas (INEGI, 1983b). Esta unidad tiene una morfología de lomeríos suaves y está expuesta en el centro, Norte y todo el Noroeste del área.

Las lutitas del Eoceno están constituidas por lutitas ligeramente calcáreas de color verde y amarillo. Esta unidad se correlaciona con la formación Aragón. Sobreyace discordantemente a la unidad arcillosa del Paleoceno y subyace, en igual forma, a las unidades arcillo-arenosas del Eoceno y del Oligoceno. Aflora principalmente en el Suroeste de la región, donde está parcialmente cubierta por basalto, y tiene una morfología de lomeríos suaves (INEGI 1983a).

Las lutitas y areniscas del Eoceno representan a la formación Chapopote, que consiste de unas margas arenosas interestratificadas con areniscas de grano fino y con algunas lutitas (Punto 1, Figura 1.4). La unidad presenta estratos delgados de bentonita, tiene color gris claro con tonos verdes. Sobreyace en forma discordante a los depósitos del Eoceno y subyace en forma a la unidad arcillo-arenosa del Oligoceno. Se localiza en una pequeña parte al Norte del área con una morfología de lomeríos bajos (INEGI, 1983b).

Las calizas del Oligoceno están formada por coquinas (fragmentos de moluscos y corales), calizas coralinas, de estratos gruesos y masivos y algunas areniscas calcáreas (Punto 5, Figura 1.4). Esta unidad representa un desarrollo calcáreo lenticular dentro de la formación Mesón. Su expresión morfológica es de los lomeríos prominentes que se encuentran al centro del área de estudio (INEGI, 1983b).

Las lutitas y areniscas del Oligoceno pertenecen a las Formaciones Palma Real y Mesón. La primera consiste de lutitas arenosas y calcáreas por lo general en estratos delgados. Consiste de una alternancia de lutitas arenosas y areniscas de grano fino, depositadas en un marco sedimentológico transgresivo y atestigua

además, una regresión marina al final de su depósito. La formación Mesón cubre discordantemente a la formación Palma Real (Punto 9, Figura 1.4) y consiste de lutitas arenosas, areniscas de grano fino, margas y algunos horizontes de limonitas arcillosas con estratos delgados y medianos; es de color gris con tonos azules. Esta unidad arcillo-arenosa, de edad oligocénica, se presenta suavemente inclinada hacia el Este y aflora en el centro Sur y al Este del área con una morfología de lomeríos (INEGI, 1983a).

Las areniscas del Mioceno están constituidas por litarenitas de grano medio a fino cementadas por carbonatos, en estratos gruesos (Punto 10, Figura 1.4). Su único afloramiento se localiza en una pequeña porción Sureste (INEGI, 1983a).

Los conglomerados del Plioceno se presentan en estratos masivos, cubren discordantemente a las unidades cretácicas y terciarias. Se encuentran en forma de mesetas que contrastan con la morfología suave de las unidades que los soportan (Punto 6, Figura 1.4) (INEGI, 1983b).

Las areniscas y conglomerados del Plioceno están conformadas por areniscas de grano medio a grueso poco cementadas o sin cementante, y por conglomerados clásticos más finos (Punto 4, Figura 1.4). Su morfología es de lomeríos muy bajos, y se localizan en el centro del área (INEGI, 1983b).

Los depósitos eólicos están limitados por el litoral, están constituidos por la acumulación de arena de grano fino y medio, y de fragmentos de conchas. Estos materiales clásticos están formados por el viento a partir de los depósitos de playa. Se presentan en forma de barras y dunas orientadas hacia el Norte, muestran una estratificación cruzada. Muchas de las dunas están fijas y están formadas por fragmentos de conchas y cementadas por carbonatos (INEGI, 1982a).

Los depósitos lacustres representan a los depósitos arcillosos, limosos y arenosos, en estratos laminares y delgados de color oscuro (Punto 7, Figura 1.4). Las arcillas son generalmente plásticas y de color oscuro, las arenas de grano fino, y los sedimentos se presentan interestratificados en capas laminares y delgadas. La unidad presenta una morfología de llanura y está expuesta, principalmente a orillas de los cuerpos de agua en las partes bajas de toda el área (INEGI, 1983a). Estos depósitos indican, a grandes rasgos, la localización de las áreas inundables en la

llanura del curso bajo del río Pánuco, ya que muchas de ellas corresponden a las áreas más bajas junto a los grandes cuerpos de agua.

Los depósitos aluviales agrupan tanto a los depósitos aluviales, como a los proluviales y algunos coluviales recientes del área. Están constituidos por arcillas, limos, arenas y gravas, por lo general presentan contenido orgánico y propiedades plásticas. Las clásticas son de caliza, arenisca, pedernal y basalto y tienen diferentes grados de redondez, los aluviones se presentan masivos en los piedelomeríos. La unidad forma abanicos aluviales, rellena valles fluviales y forma planicies aluviales. La fuente de aporte de esta unidad se ubica en las rocas preexistentes del área y del Oeste (INEGI, 1983a; INEGI, 1983b). Es la unidad más extensa, con un 25.63% del área de estudio, se localiza en toda la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, por lo que está expuesta a las inundaciones.

1.5. Edafología

Según la clasificación de la FAO/UNESCO, modificada por el INEGI (INEGI, 1981a), los suelos que se presentan en el área específica de estudio pertenecen a siete tipos (Figura 1.5).

El Vertisol es un suelo arcilloso oscuro, que se agrieta cuando está seco, por lo que es muy duro y se expande cuando se humedece, volviéndose muy pegajoso (Buol et al., 1988). En el área de estudio se encuentra sólo y como suelo principal asociado a otros suelos en un 71% del área. De manera secundaria, se le puede encontrar en áreas inundables, cerca de los grandes cuerpos de agua, en donde se desarrolla en depósitos aluviales o lacustres de textura fina o muy fina.

El Regosol, se caracteriza por no presentar capas distintas, son suelos claros y se parecen a la roca que les dio origen, se pueden presentar en distintos climas y con distintos tipos de vegetación (Buol et al., 1988). En el área de estudio se encuentra asociado a otros tipos de suelos, excepto en las playas, pero como suelo principal, se le puede encontrar en una mayor extensión al Sureste y al Noreste del área.

Los suelos Solonchak, se caracterizan por tener un alto contenido de sales en todo el suelo o en algunas partes, como en la superficie (Boul et al., 1988). En el área

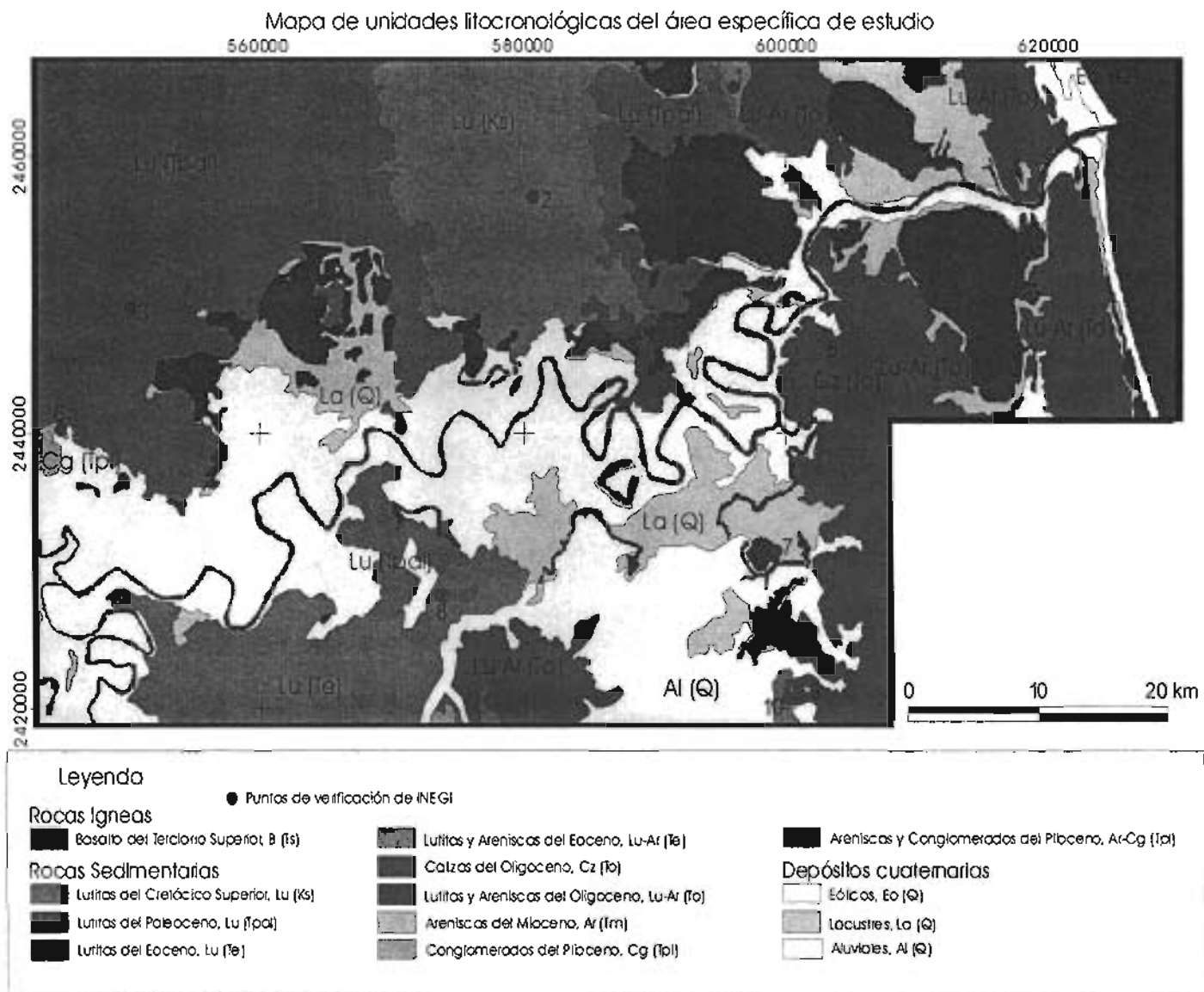


Figura 1.4. Unidades litocronológicas según INEGI (1982a, 1983a, 1983b y 1983d).

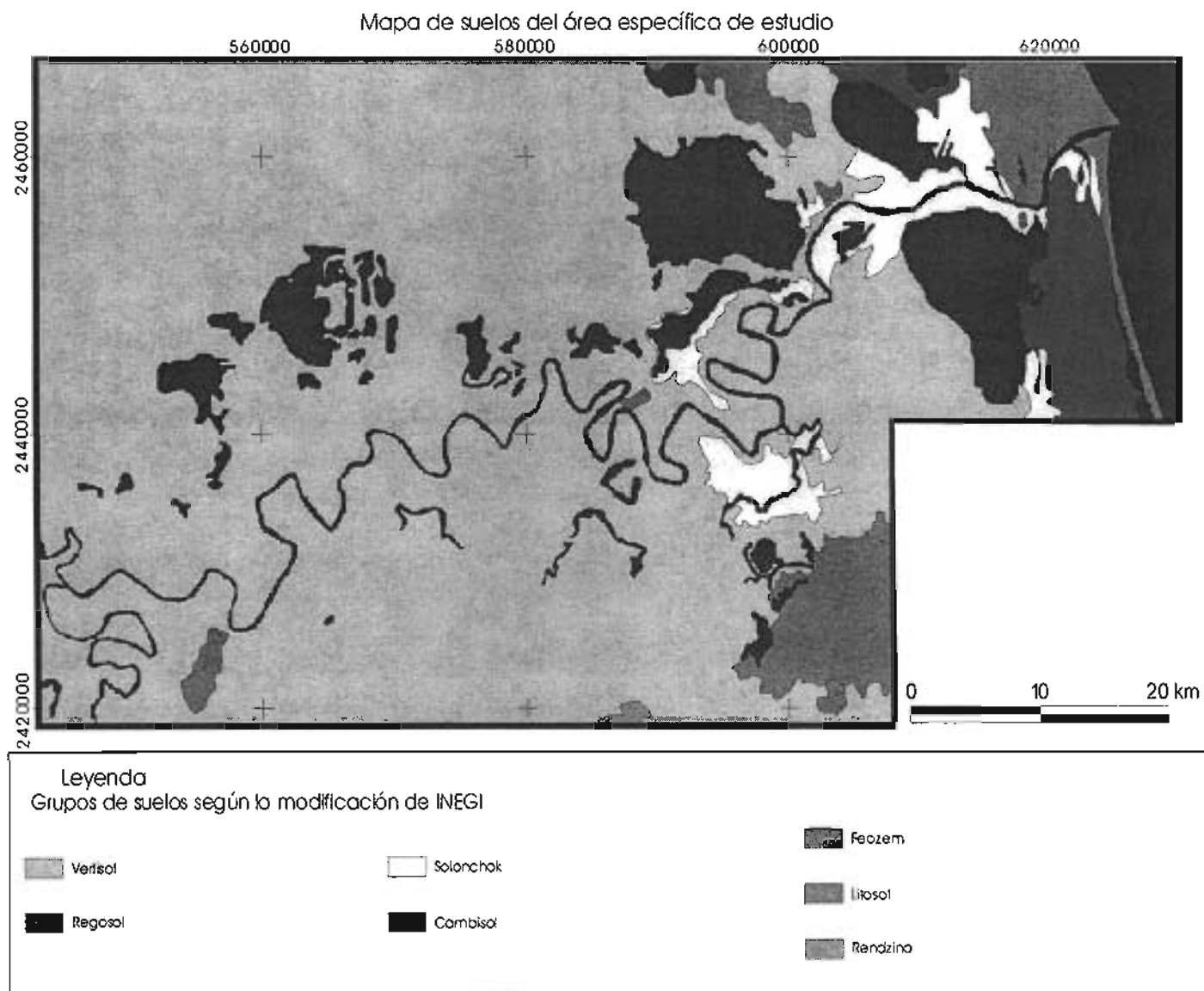


Figura 1.5. Tipos de suelos según INEGI (1982b, 1982c, 1983a y 1983e).

de estudio, se le puede encontrar siempre cerca de cuerpos de agua, se relaciona estrechamente a las áreas inundables, y en muchas partes, se le encuentra asociado al Vertisol.

Los Cambisoles son suelos jóvenes poco desarrollados y se encuentran en cualquier tipo de clima, excepto en zonas áridas. En el subsuelo poseen una capa de terrones, pueden presentar alguna acumulación de arcilla, calcio, fierro, manganeso, etc. (Buol et al., 1988). En el área de estudio se encuentran sobre las elevaciones cercanas a la costa.

Los Feozem se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes (Buol et al., 1988). Se encuentran en pequeñas áreas, al centro y Norte del área de estudio.

Los Litosoles son suelos sin desarrollo, con profundidad menor a 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche (Buol et al., 1988). Se encuentra en muy pequeñas áreas, al Sureste del área de estudio.

Los suelos Rendzina son suelos poco profundos pero muy fértiles, con una capa superficial abundante de humus. Se desarrollan sobre roca caliza, en el área de estudio son los menos abundantes (Buol et al., 1988), y sólo se les puede observar en una pequeña área al Sur.

1.6. Vegetación y uso de suelo

El área específica de estudio ha sido altamente modificada por las actividades humanas, sólo el 13% no ha tenido un cambio drástico (Figura 1.6). Las clases de uso de suelo y vegetación existentes en el área de estudio son 18 diferentes, de las cuales el pastizal cultivado abarca un 45% de toda el área, la agricultura de riego es la segunda más extensa con un 21% y se encuentra en el centro y al Este del área de estudio, es una unidad representada por un distrito de riego, los dos tipos de agricultura de temporal se localizan en diferentes partes del área de estudio, pero principalmente al centro, a un costado del Río Pánuco, estas dos unidades cuentan con una extensión del 5%. Por otra parte, las unidades que no presentan vegetación secundaria son representadas por once comunidades diferentes, de las cuales tres se encuentran estrechamente relacionadas a los cuerpos de agua y en

muchos casos también a las áreas inundables, el popal-tular es el más extenso con un 4% del total del área, la vegetación halófila y gipsófila con un 2%, y el manglar con un 1%. Este último se encuentra en los cuerpos de agua cercanos a la costa. Los cinco tipos de selva suman un 5% del total del área y no tienen una distribución específica, se les puede observar, tanto en los lomeríos, como en la llanura fluvial.

1.7. Medio Socioeconómico

El área específica de estudio está constituida por un total de diez municipios (Figura 1.7), de los cuales Ciudad Madero y Tampico corresponden al estado de Tamaulipas; Ébano, Tamuín y Tanlajas a San Luis Potosí; El Higo, Ozumba, Tampico Alto, Pueblo Viejo y Pánuco al estado de Veracruz. Este último ocupa el 55% del área total.

La población se concentra en las áreas urbanas, las más grandes son Tampico con 295,442 hab. (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2004), Ciudad Madero con 182,325 hab. (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2004). La población de Pánuco es la tercera más grande del área, con 29,820 hab. (INEGI, 1994a). También existen otras poblaciones como: Moralillo con 6,490 hab. (INEGI, 1994a) habitantes, Tamos con 2,631 hab. (INEGI, 1994a) del municipio de Pánuco; Ébano con 22,769 hab. (INEGI, 1996) habitantes y Pujal Coy con 3,119 hab. (INEGI, 1996) del Municipio de Ébano; y las poblaciones Cd. Cuauhtémoc-La Anáhuac-Colonia Benito Juárez-Hidalgo-Primero de Mayo con 45,316 hab. (INEGI, 1994b) del Municipio de Pueblo Viejo.

En los municipios de San Luis Potosí la principal actividad económica es la primaria, constituida por la agropecuaria, también en el municipio del Pánuco es la principal actividad, con el 42% de la Población Económicamente Activa (PEA), y el cultivo principal es la caña de azúcar. En los municipios de Tamaulipas la principal actividad es la terciaria, conformada por los obreros y artesanos con un 20% de la PEA, esto se debe a que son municipios urbanizados casi en su totalidad.

1.8. Conclusiones de este capítulo

Cada uno de los temas describen las características del área de estudio y dan una visión general de la localización de las áreas inundables, ya que éstas coinciden, por lo general, con depósitos lacustres y aluviales, así como también con suelos Solonchak y Vertisol, y con la vegetación popal-tular, manglar, halófila y gipsófila. Como es el caso de las áreas inundables cercanas a los grandes cuerpos de agua, que cuentan con depósitos lacustres del Cuaternario, suelos Solonchak que se caracterizan por su alto contenido de sales en superficie por la evaporación, y una vegetación de popal-tular, halófila, gipsófila y de manglar, las cuales dependen de una relación muy estrecha con cuerpos de agua. En algunos lugares las actividades humanas han podido introducir áreas con pastizales y agriculturas de temporal y riego. Los extensos depósitos aluviales son en su mayoría suelos del grupo de los vertisoles, que se caracterizan por agrietarse y endurecerse cuando están secos y muy pegajosos cuando están húmedos, pero que a su vez son utilizados para los tipos de agricultura antes mencionadas.

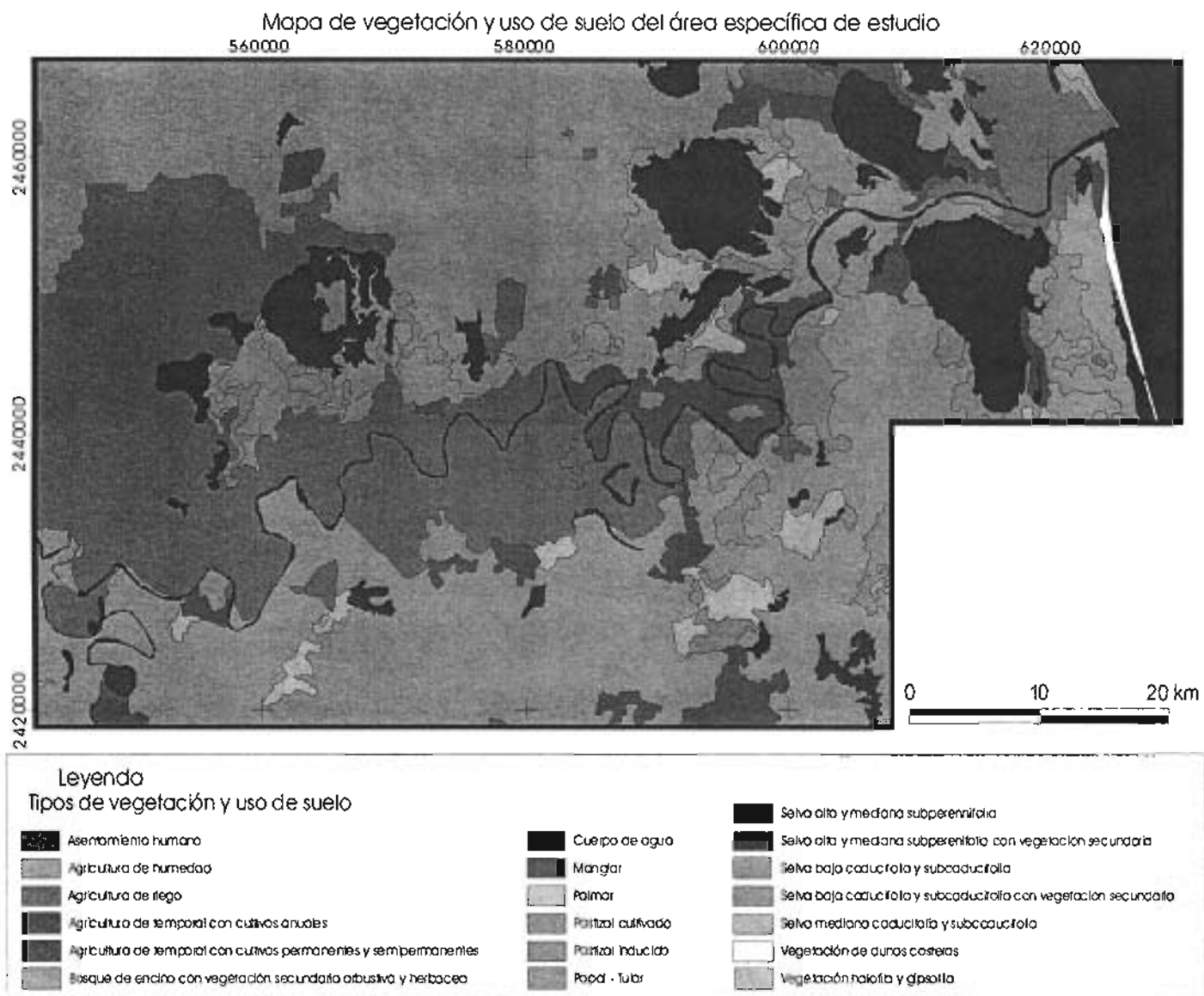
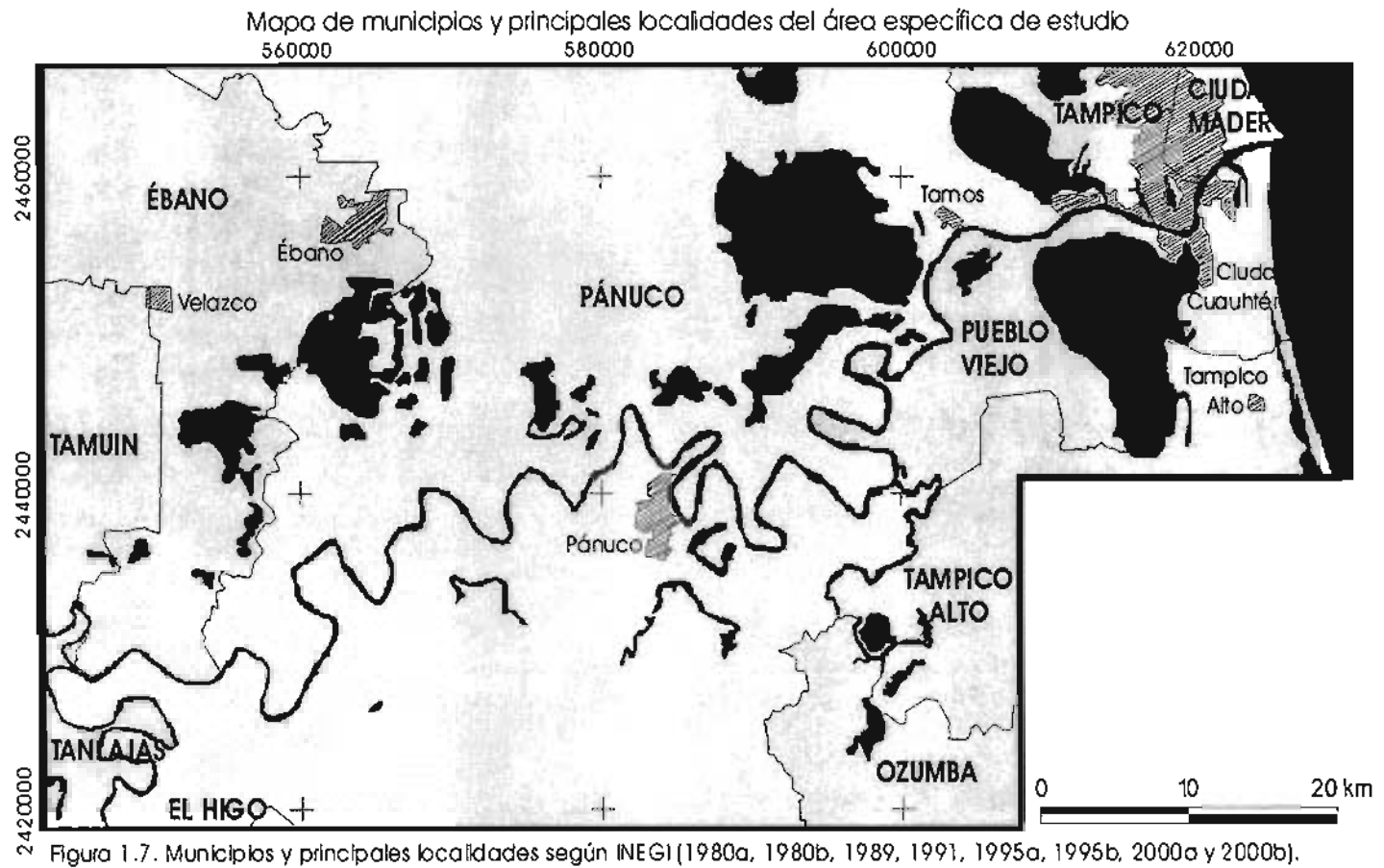


Figura 1.6. Vegetación y uso de suelo (SEMARNAT, 2000).



CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Introducción

En este capítulo se describen todos los métodos y técnicas que fueron utilizados para la elaboración del presente trabajo. También este capítulo es utilizado como un marco conceptual, con el fin de entender algunos de los procesos fluviales y geomorfológicos que ocurren en el área de estudio. En algunos de los casos no existía previamente una descripción de la técnica, por lo que se tuvo que desarrollar, adoptar y proponer nuevas técnicas. Las diferentes etapas se describen a grandes rasgos en el diagrama metodológico (Figura 2.1)

El principal método utilizado para la creación del presente trabajo es el levantamiento geomorfológico propuesto por el *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences* (ITC), el cual es un sistema estructurado específicamente para la integración de las herramientas tecnológicas con un mapeo y evaluación de levantamientos geomorfológicos. Consiste en proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno, los procesos geomorfológicos y los fenómenos naturales conexos, tanto en mapas como en bases de datos (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

Existen tres tipos de levantamientos que propone el ITC, los cuales a su vez son complementarios entre sí: Mapas geomorfológicos analíticos, sintéticos y pragmáticos. El mapa geomorfológico fluvial de la llanura del curso bajo del río Pánuco que se presenta en este estudio es del tipo pragmático, ya que es elaborado con el fin específico de identificación de las áreas inundables. El procedimiento que el ITC propone se lleva a cabo a través de una serie de pasos que van cumpliendo objetivos.

Primero, se obtiene una visión general del área de estudio por medio de una imagen satelital o formando un mosaico con las fotografías aéreas. Simultáneamente se consultan los mapas temáticos existentes, así como la bibliografía general del área de estudio y se determina la escala de trabajo. Al tener una idea general del área, con ayuda del Sistema de Información Geográfica, se integra un mapa topográfico en formato digital, el cual va a servir como base,

también se crea un mapa a detalle del sistema de drenaje, los cuerpos de agua y los litorales.

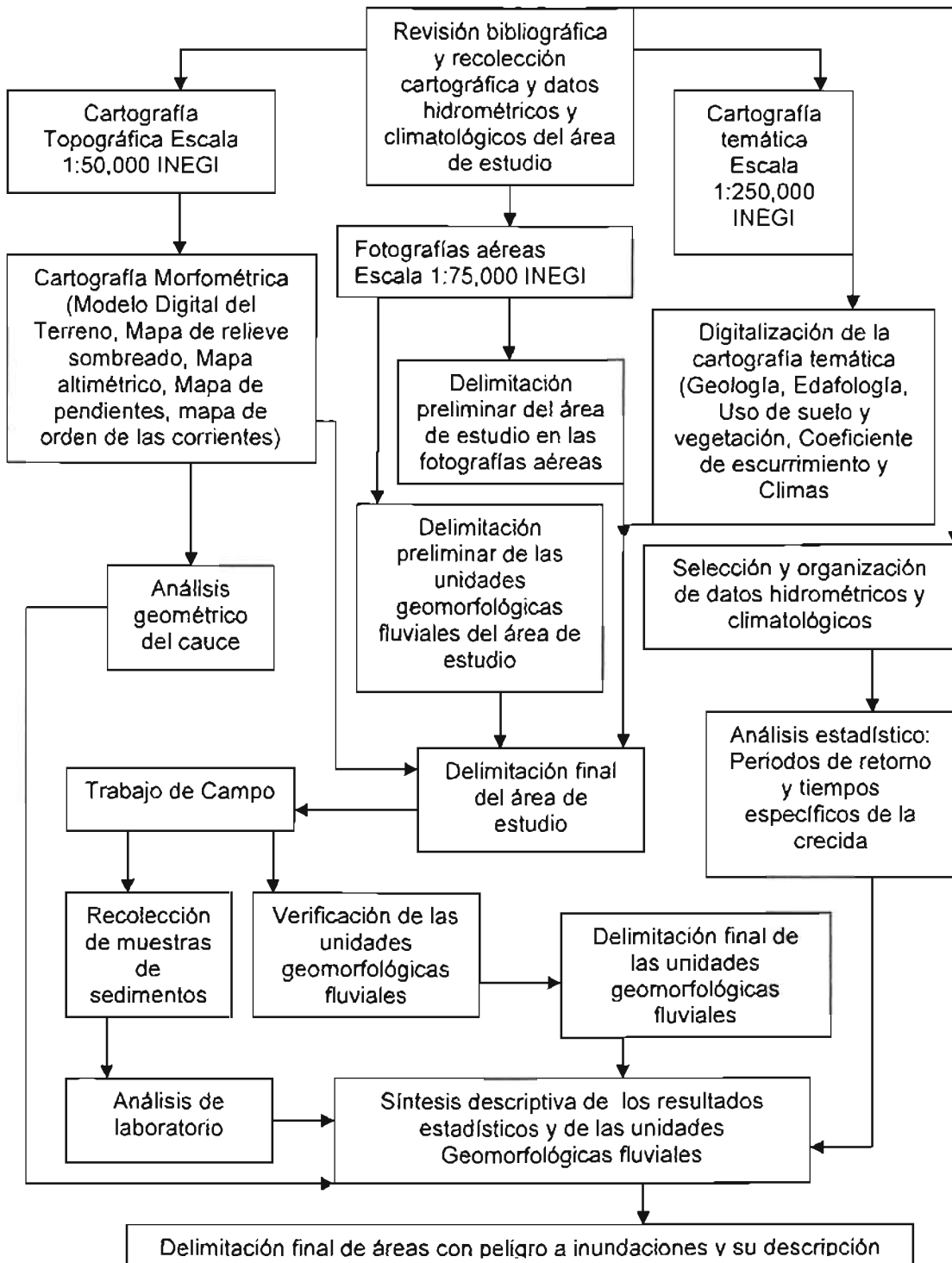


Figura 2.1. Diagrama metodológico para la delimitación de las áreas inundables en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

Posteriormente, se hace una interpretación detallada de las imágenes de satélite y de las fotografías aéreas, donde se muestra el trazado de unidades geomorfológicas mayores y sus divisiones.

El trabajo de campo es fundamental y tiene varios propósitos, uno es el de verificar el mapa preliminar de las unidades geomorfológicas; otro es el de incorporar información que no fue obtenida, tanto en las fotografías aéreas, como en la imagen de satélite; también es útil para la recolección de muestras que serán analizadas en laboratorio.

En la última fase de la metodología, se tiene que realizar un informe final que contenga los resultados estadísticos, así como los resultados del análisis del laboratorio y también los mapas finales con su respectiva descripción.

2.2. Revisión bibliográfica y cartográfica

Esta etapa fue fundamental durante todo el tiempo que duró la realización de la tesis, consistió de diferentes periodos. El primero fue una revisión bibliográfica que permitió tomar la decisión de escoger el área de estudio. Posteriormente, se recopiló, analizó y depuró material bibliográfico y cartográfico del área de estudio, esto con el fin de obtener aspectos generales de la región. A pesar de no haber contado con información más detallada, fue posible realizar un buen trabajo cartográfico gracias al uso de los sistemas de información geográfica.

2.3. Elaboración de la cartografía

Lo primero que se hizo fue la delimitación del área de estudio, lo cual fue a partir de las fotografías aéreas, a escala 1:75,000, y de las cartas topográficas, a escala 1:50,000, editadas por el INEGI. Con esto, se determinó el área de estudio que comprende la llanura fluvial del río Pánuco, desde la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón, hasta su desembocadura en el Golfo de México.

La creación del Modelo Digital del Terreno (MDT), se realizó digitizando las curvas de nivel de ocho cartas topográficas, a escala 1:50,000, con la ayuda de una tableta digitalizadora y del programa ILWIS 3.0 (ITC, 2000). El MDT generado para el área específica de estudio tuvo una resolución de 20 m (tamaño del píxel). Para

la cuenca del río Tempoal, el MDT que se utilizó fue realizado por el INEGI (INEGI, 1998) con una resolución de 90 m.

Una vez finalizado el MDT, se realizó el mapa de relieve sombreado, a partir de la aplicación de dos filtros de convolución lineal en el programa ILWIS 3.0 (ITC, 2000). El primer filtro genera una representación en tercera dimensión en escala de grises de la superficie terrestre y el segundo filtro resalta los contrastes del terreno. Este mapa fue utilizado como base de los mapas temáticos del análisis geomorfológico.

Otra cartografía realizada fue la morfométrica, que es el análisis que ayuda en la evaluación geomorfológica para saber las características cuantitativas de las formas del relieve como son: las alturas relativas y absolutas, superficies, pendientes, volúmenes, orientación de la pendiente, densidad y profundidad de la disección, entre otros (Lugo, 1989). A partir de estos métodos morfométricos se pueden realizar mapas específicos que ayudan a los fines geomorfológicos. En este trabajo se aplicaron tres de estas variables en la cuenca del río Tempoal, ya que contribuyen al análisis hidrológico. Uno es el mapa altimétrico, que se caracteriza por simplificar la comprensión del mapa topográfico (Lugo, 1991), para la cuenca del río Tempoal se agruparon las altitudes en nueve intervalos de 307 m, tomando en cuenta el valor mínimo (0 msnm), el valor máximo (2,773 msnm) y la distribución de los valores de altitud en el histograma de frecuencia. Otro mapa es el de pendientes del terreno, el cual consistió en transformar las distancias entre las curvas de nivel en valores de pendiente (Lugo, 1991), para su elaboración se utilizó como base el MDT y con la ayuda del programa ILWIS 3.0 (ITC, 2000) se agruparon los valores en seis intervalos. Otro mapa morfométrico creado fue el mapa de orden de las corrientes de la red fluvial de la cuenca del río Tempoal, tomando en cuenta el método de Strahler del año 1952, para determinar las jerarquías en la red de drenaje (Strahler y Strahler, 1989).

Otro tipo de cartografía que se realizó fueron los mapas temáticos, los cuales fueron elaborados con el programa ILWIS 3.0, primero se digitizaron como mapas de segmentos los cuales se verificaron y posteriormente se transformaron a polígonos. La información temática fue obtenida de los mapas elaborados por el

INEGI (1981-1985) a escala 1:250,000. Los temas utilizados fueron Geología, Uso de suelo y vegetación, Edafología y el Coeficiente de escurrimiento, este último fue obtenido del mapa de Aguas Superficiales. El mapa de coeficiente de escurrimiento fue digitizado para el área de estudio específica y también para la general, es un mapa en el que INEGI (1981-1985) utilizó la siguiente metodología para realizarlo: Son áreas en las que el escurrimiento tiende a ser uniforme, debido a sus características de permeabilidad, cubierta vegetal y precipitación media principalmente. Como resultado de estos factores, se obtuvo un coeficiente de escurrimiento que representa el porcentaje de agua precipitada que drena o se acumula superficialmente. De acuerdo a su variación en el país, estos coeficientes se agruparon en cinco intervalos, que representan las condiciones del escurrimiento. Los rangos considerados son: de 0 a 5%, de 5 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% y mayor a 30%.

La permeabilidad de los materiales que constituyen el terreno, se consideraron en la estimación de la cantidad de agua superficial que se infiltra en las diferentes unidades litológicas y, a partir de esto, se clasificaron en permeabilidad alta, media o baja. El uso de suelo es la cubierta vegetal del suelo que existía en la fecha de realización del mapa, esta interviene al retardar el flujo del agua propiciando la infiltración, y se clasificó según su densidad. La precipitación pluvial que se consideró es la anual, y oscila entre los 800 y 1,400 mm.

La cartografía utilizada para el presente trabajo se describe en las siguientes tablas:

Tabla 2.1. Cartas topográficas en escala 1:50,000 utilizadas para la realización del presente estudio.

Nombre	Clave	Escala	Dependencia	Año
Nuevo Tantoan	F14B72	1:50,000	INEGI	1980
La Michoacana	F14B73	1:50,000	INEGI	1980
Tampico Norte	F14B74	1:50,000	INEGI	2000
Ébano	F14B82	1:50,000	INEGI	1989
Pánuco	F14B83	1:50,000	INEGI	1995
Tampico Sur	F14B84	1:50,000	INEGI	2000
El Higo	F14D12	1:50,000	INEGI	1995
Estación La Puente	F14D13	1:50,000	INEGI	1991

Tabla 2.2. Cartas topográficas y temáticas en escala 1:250,000 utilizadas para la realización del presente estudio.

Nombre	Tema	Clave	Escala	Dependencia	Año
Ciudad Mante	Geología	F14-5	1:250,000	INEGI	1983
Tampico	Geología	F14-3-6	1:250,000	INEGI	1982
Ciudad Valles	Geología	F14-8	1:250,000	INEGI	1983
Tamiahua	Geología	F14-9	1:250,000	INEGI	1982
Pachuca	Geología	F14-11	1:250,000	INEGI	1983
Ciudad Mante	Edafología	F14-5	1:250,000	INEGI	1982
Tampico	Edafología	F14-3-6	1:250,000	INEGI	1983
Ciudad Valles	Edafología	F14-8	1:250,000	INEGI	1983
Tamiahua	Edafología	F14-9	1:250,000	INEGI	1982
Pachuca	Edafología	F14-11	1:250,000	INEGI	1983
Ciudad Mante	Uso de suelo y vegetación	F14-5	1:250,000	INEGI	1982
Tampico	Uso de suelo y vegetación	F14-3-6	1:250,000	INEGI	1981
Ciudad Valles	Uso de suelo y vegetación	F14-8	1:250,000	INEGI	1984
Tamiahua	Uso de suelo y vegetación	F14-9	1:250,000	INEGI	1981
Pachuca	Uso de suelo y vegetación	F14-11	1:250,000	INEGI	1984
Cd. Victoria	Aguas superficiales	F14-2	1:250,000	INEGI	1983
Tampico	Aguas superficiales	F14-3-6	1:250,000	INEGI	1983
San Luis Potosí	Aguas superficiales	F14-4	1:250,000	INEGI	1979
Ciudad Mante	Aguas superficiales	F14-5	1:250,000	INEGI	1983
Guanajuato	Aguas superficiales	F14-7	1:250,000	INEGI	1981
Ciudad Valles	Aguas superficiales	F14-8	1:250,000	INEGI	1983
Tamiahua	Aguas superficiales	F14-9	1:250,000	INEGI	1983
Querétaro	Aguas superficiales	F14-10	1:250,000	INEGI	1981
Pachuca	Aguas superficiales	F14-11	1:250,000	INEGI	1983
Cd de México	Aguas superficiales	E14-2	1:250,001	INEGI	1983

2.4. Hidrología

Para el desarrollo del presente trabajo, se tomó en cuenta una serie de conceptos hidrológicos que fueron indispensables, en este apartado se desarrollan y se explica la utilidad de los conceptos hidrológicos utilizados.

La hidrología es el estudio de la dinámica del agua en la superficie terrestre, desde su ocurrencia, circulación y distribución, también estudia sus propiedades físicas y químicas y, por supuesto, su interacción con los seres vivos, incluyendo al ser humano (Pedraza, 1996). Sus objetivos son diversos y pueden ser aplicados para el diseño e instalaciones de riego, abastecimiento de agua potable, generación eléctrica, recreación, navegación en ríos, etc. En este trabajo el estudio hidrológico se utilizó para conocer la cantidad, frecuencia y naturaleza de las avenidas máximas.

El entendimiento de las cuencas hidrológicas, tanto en planta, como en perfil, fue indispensable para la realización del trabajo, ya que se muestran los diferentes rasgos y áreas que las componen. Una cuenca hidrográfica superficial, es un área en la que toda el agua que escurre en diferentes corrientes coincide en un mismo punto de salida o de concentración (Aparicio, 1992). Por ser áreas muy diversas se han hecho varias clasificaciones, una de ellas es desde el punto de vista de su salida, en donde solo existen dos tipos de cuencas: las endorreicas y las exorreicas (Figura 2.2). En las primeras no existe un punto de salida, sino un punto de concentración, que generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en su parte más baja y que a su vez es su límite, y pueden ser otras corrientes, lagos o el mar.

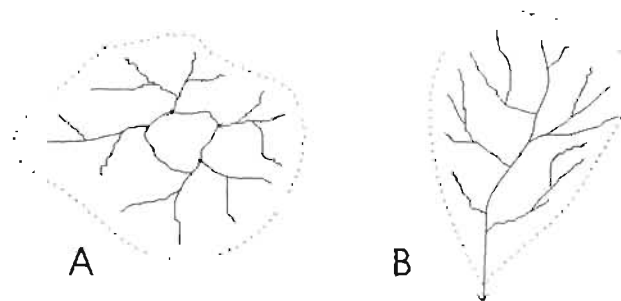


Figura 2.2. Cuencas endorreicas (A) y exorreicas (B).

Las características de cada cuenca determinan la velocidad del flujo o de respuesta cuando se presentan lluvias, éstas se clasifican en dos tipos, las que condicionan el volumen de escurrimiento, y las que condicionan la velocidad de respuesta.

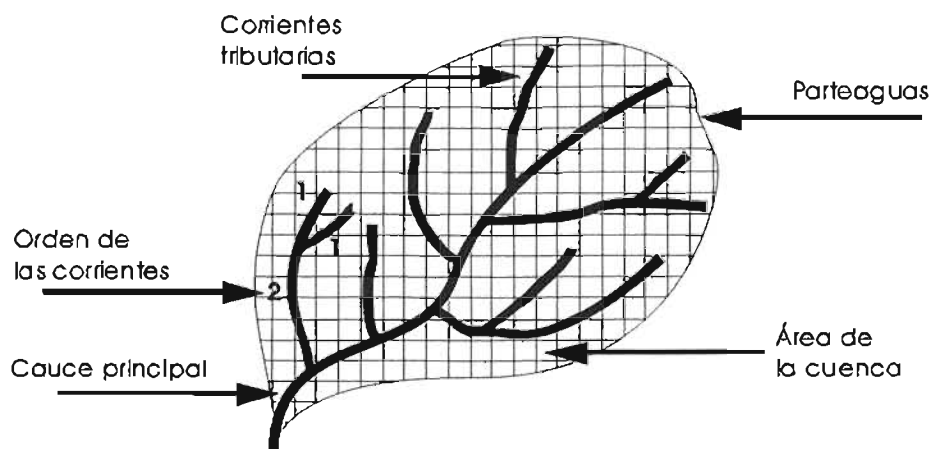


Figura 2.3. Características generales de una cuenca hidrográfica.

Las primeras pueden ser el área de la cuenca, tipo de suelo, cubierta vegetal, entre otras, y las segundas son el orden de las corrientes, la pendiente de la cuenca y de los cauces de mayor importancia, entre otras (Figura 2.3).

El parteaguas, también conocido como línea divisoria de aguas, es una línea imaginaria que une los puntos más altos del relieve entre dos corrientes fluviales o entre cuencas hidrográficas (Lugo, 1989). El área de la cuenca es el total de la superficie que se encuentra delimitada por el parteaguas. La corriente principal es aquella que pasa por la salida de la cuenca y casi siempre es la de mayor longitud, todas las demás corrientes se denominan como tributarias. Entre mayor sea el grado de corrientes tributarias más rápida será la respuesta de la cuenca a la precipitación. El orden de las corrientes es otro indicador, consiste en asignar un número a cada uno de los segmentos del cauce, a los primeros segmentos se les asigna el número uno, cuando se unen dos segmentos del número uno, se les asigna el número dos, y así sucesivamente, se le asigna a los segmentos el número consecutivo superior (Figura 2.3). La pendiente de la corriente principal es uno de los indicadores más importantes, pero debido que esta varía a lo largo del cauce es necesario obtener la media. La pendiente media es el desnivel entre los dos extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta (Aparicio, 1992), esto quiere decir: H / L (Figura 2.4).

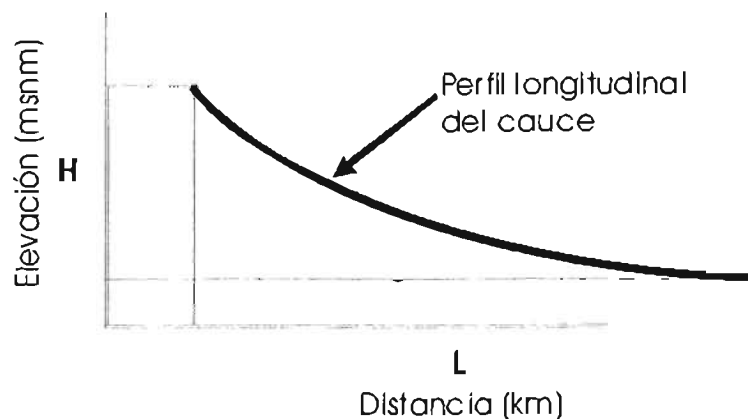


Figura 2.4. Pendiente de la corriente principal.

Otro concepto importante para la realización del presente trabajo es el escurrimiento, el cual es el agua que proviene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Aparicio, 1992). El agua que proviene de la precipitación al llegar a la superficie terrestre puede tomar diversos caminos, una parte se infiltra hasta los niveles de saturación, otra parte, que de igual manera se infiltra, fluye paralelamente por debajo de la superficie, llamándose flujo intermedio o flujo subsuperficial, pero cuando el agua supera la capacidad de infiltración del suelo fluye laderas abajo sobre la superficie terrestre, y es definido como flujo superficial hasta que no llegue a cauces bien definidos. El flujo superficial puede adoptar diversas formas, una de ellas es la de pequeños "riachuelos", que siguen diversos caminos sobre la superficie, sin encontrar un cauce definido. Cuando estos flujos se unen y siguen un escurrimiento definido son nombrados escurrimientos en corrientes superficiales, y son el inicio de un río o arroyo.

En un estudio hidrológico, la cantidad de agua que transportan las corrientes superficiales es registrada en las estaciones hidrométricas. Estas estaciones hidrológicas se localizan en secciones específicas del cauce, como en poblaciones importantes, o ya sea antes o después de grandes confluencias. Para el registro de los diversos datos hidrológicos, se utilizan instrumentos como los limnímetros y limnógrafos (Aparicio, 1992). Los datos que se registran como los gastos (metros cúbicos por segundo), los volúmenes de agua y la cantidad de material suspendido entre otros, son utilizados por los diversos estudios hidrológicos.

En este caso, los gastos fueron utilizados para la creación de los hidrogramas, para los cálculos realizados por los diversos métodos estadísticos y para el análisis de respuesta hidrológica de la cuenca del río Tempoal.

El hidrograma es una gráfica que presenta los gastos registrados de una estación hidrológica a través de un determinado periodo de tiempo (Aparicio, 1992). En este estudio fue utilizado para observar el comportamiento del escurrimiento producido por una determinada tormenta. En este tipo de gráficas es posible distinguir sus diferentes partes (Figura 2.6):

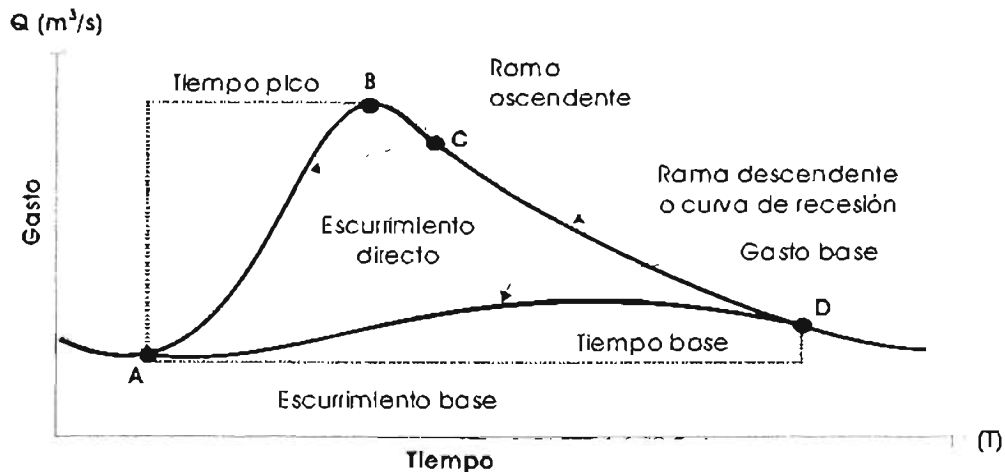


Figura 2.6. Partes que componen un hidrograma aislado (Pedraza, 1996).

Donde:

El punto de levantamiento (A) es cuando el valor del gasto aumenta, debido a una tormenta, se puede situar durante o después de que se produjo la precipitación. El pico (B) es el punto del gasto máximo en una crecida generado por la tormenta. El punto de inflexión (C) es cuando el escurrimiento generado por la tormenta se considera como terminado, a partir de este punto el gasto disminuye hasta los valores que llevaba la corriente antes de la precipitación intensa. El final del escurrimiento directo (D) es el punto donde finaliza el escurrimiento provocado por la precipitación, a partir de este punto, el escurrimiento es sólo de origen subterráneo y generalmente es el punto de mayor curvatura de la rama descendente (Aparicio, 1992).

El tiempo pico es el que transcurre desde el "punto de levantamiento" hasta el máximo valor del hidrograma, que es el "pico". El tiempo base es el que transcurre desde el "punto de levantamiento" hasta el punto "final del escurrimiento directo". El escurrimiento directo es el originado por la precipitación en exceso o efectiva y se presenta desde el "punto de levantamiento" hasta el punto "final del escurrimiento directo". El escurrimiento base es el generado por corrientes subterráneas y por varias tormentas difíciles de determinar. El gasto base es una línea hipotética que sirve para separar el "escurrimiento directo" del "escurrimiento base" en una determinada tormenta. La rama ascendente es la parte de la función con pendiente positiva del hidrograma que va desde el "punto de levantamiento" hasta el "pico"

del hidrograma. La rama descendente o curva de recesión es la función con pendiente negativa del hidrograma, que va desde el "pico" del hidrograma hasta el punto "final del escurrimiento directo" (Aparicio, 1992).

El hidrograma por si solo determina algunos periodos de tiempo, pero al relacionarlo con un hietograma, que es la gráfica donde se muestra la intensidad de la precipitación, se pueden distinguir diferentes tiempos específicos del comportamiento de un escurrimiento producido por una tormenta (Figura 2.7).

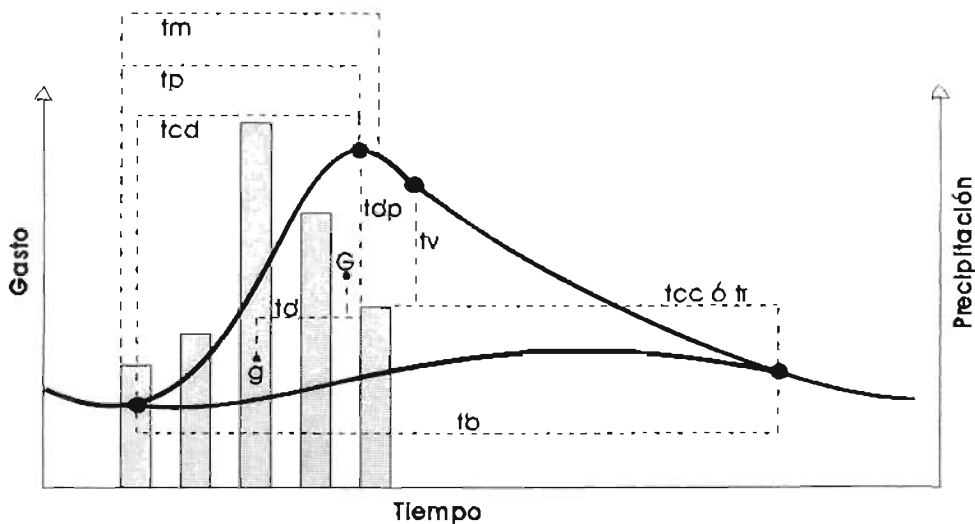


Figura 2.7. Tiempos específicos entre un hietograma y un hidrograma.

Donde:

Los tiempos de crecida (t_{cd}) corresponden a la rama ascendente en el hidrograma. Los tiempos de demora (t_d) es el tiempo de desfase entre los centros de gravedad del hidrograma (G) e hietograma (g), dependen del tipo de cuenca, como sus características físicas y su cobertura vegetal. El tiempo de punta (t_p) es desde el comienzo de la lluvia hasta que se registra el máximo gasto. El tiempo de desfase de la punta (t_{dp}) es entre el centro de gravedad del hietograma hasta el momento del máximo caudal. El tiempo base (t_b) es desde el "punto de levantamiento" del hidrograma hasta el punto "final del escurrimiento directo" del mismo. El tiempo de viaje (t_v) es desde el final del hietograma neto hasta el "punto de inflexión" del hidrograma. El tiempo de recesión (t_r) o tiempo de concentración (t_{cc}) es entre el final de la precipitación hasta el punto "final del escurrimiento directo" del

hidrograma, también es el tiempo que se tarda en desaguar la última gota de lluvia. El tiempo mediano (t_m) separa el inicio de la lluvia y el momento cuando el hidrograma superficial ha desaguado la mitad de su volumen (Pedraza, 1996).

El análisis estadístico de los gastos registrados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco se llevó a cabo por la información hidrológica obtenida del programa de obtención rápida de datos hidrométricos llamado BANDAS (CNA e IMTA, 1997). La información obtenida de cada una de las estaciones hidrológicas fue: Datos hidrométricos mensuales, Gastos máximos anuales, Gastos máximos mensuales, Gastos y volúmenes medios y extremos anuales, y Volúmenes y gastos por día. Toda la información se depuró, se seleccionó y se organizó en hojas de cálculo para su análisis. El análisis que se realizó fue un diseño de eventos máximos con diferentes periodos de retorno, esto se fundamentó al correlacionar los datos de las estaciones hidrométricas con las diferentes distribuciones de probabilidad que maneja el programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología (Ruiz, 2002). Este trabajo consistió en obtener una estimación de gastos máximos a futuro de los datos registrados en diferentes periodos, y con los métodos estadísticos se permite presentar, organizar y reducir los datos para facilitar su interpretación y evaluación. De los ocho métodos estadísticos que maneja el programa (Ruiz, 2002), la distribución Gamma de dos parámetros, distribución general de valores extremos (Gumbel), distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p), distribución Log-Normal y la distribución normal son los que se tomaron en consideración, ya que los datos que arrojaron no fueron tan dispersos como ocurrió con la distribución exponencial de dos parámetros, la distribución gamma de tres parámetros (Pearson tipo III) y el método de Nash, que no se tomaron en cuenta. En el Anexo A, se definen y se desarrollan los cinco métodos utilizados para este análisis estadístico.

2.5. Meteorología

El estudio de los datos meteorológicos es un complemento del análisis hidrológico. Los datos meteorológicos ayudaron a determinar los tiempos de respuesta de las cuatro subcuencas que conforman la cuenca del río Tempoal y del curso bajo del

río Pánuco. La información meteorológica se obtuvo del programa de obtención rápida de datos meteorológicos llamado ERIC (ERIC, 1996), y de las 80 estaciones consultadas sólo se seleccionaron 71, por tener un registro igual o mayor a 20 años. Con cada una de las estaciones se seleccionaron y se organizaron sus datos en hojas de cálculo del programa Excel (Microsoft, 2003), con el fin de obtener la media de la precipitación anual, y así interpolar los datos para realizar un mapa en el programa Surfer 8.01 (Golden Software, 2002). A su vez, se calculó la precipitación acumulada de las fechas en que existieron perturbaciones atmosféricas, así como gastos hidrométricos altos, esto con el fin de obtener un mapa de cada evento.

2.6. Geomorfología

El estudio geomorfológico fluvial es la base del presente trabajo, por lo que se tuvieron que consultar varias referencias, que permitieron definir los procesos fluviales existentes y las formas fluviales resultantes en las llanuras de inundación. El desarrollo del trabajo geomorfológico consistió de varias etapas que concluyeron con el mapa geomorfológico fluvial de la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco y el análisis de las unidades geomorfológicas que conforman el mapa.

La fotointerpretación geomorfológica se realizó a partir de las fotografías aéreas a escala 1:75,000, de los años 1999 y 2000, editadas por el INEGI. Esta etapa fue fundamental, ya que las fotografías aéreas son necesarias para un mapeo geomorfológico detallado, lo cual se hizo tomando en cuenta varios elementos de las fotografías aéreas, como el uso de suelo y las diferencias altitudinales, todo esto permitió identificar diversos rasgos dinámicos como los vertederos de desplazamiento, cuerpos de agua, áreas de acumulación, etc.

Para la delimitación de las unidades se tuvo como referencia los trabajos realizados previamente por Ortiz (1979), Romo y Ortiz (2001), Zavala (1985), así como de varios textos de otros autores como Bocco et al (1993), Byant y Gilveart (1999) y Carmona (1997), también se apoyó en las curvas de nivel, básicamente para distinguir las alturas de los lomeríos, y de la imagen de satélite con el

compuesto 541. La imagen de satélite que se utilizó fue del sensor Landsat ETM+ del año 2000, con la cual se generó un compuesto en falso color RGB con las bandas cinco en el cañón rojo, cuatro en el verde, y uno en el azul, lo cual permitió mejorar la fotointerpretación geomorfológica al identificar las áreas inundables.

La investigación bibliográfica ayudó a definir y entender los procesos fluviales que se dan en toda la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, esto facilitó la delimitación, tanto de las unidades geomorfológicas fluviales como de los procesos que se presentan en ciertas áreas específicas, estas formas características de las llanuras fluviales se abordan a continuación.

Tomando en cuenta el trazado general de la red fluvial en planta, el curso bajo del río Pánuco es meandriforme, ya que según Miall (1977, en Morisawa, 1985) es posible definir cinco tipos de patrones (Figura 2.8) tomando en cuenta su geometría: Rectilíneo, Sinuoso, Meandriforme, Trenzado y Anastomosado.

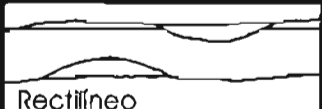



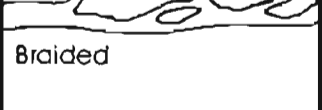
Esquema	Tipo	Morfología	Sinuosidad	Tipo de carga
 Rectilíneo	Rectilíneo	Canal único con <i>pools and riffles</i> , <i>talweg</i> meándrico	< 1.05	Mixta y carga de fondo
 Sinuoso	Sinuoso	Canal único, <i>pools and riffles</i> , <i>talweg</i> meándrico	>1.05 <1.05	Mixta
 Meandriforme	Meandriforme	Canal único, (puede tener en el interior del canal <i>point bar</i>)	>1.5	Suspendida y carga mixta
 Braided	Trenzado	Dos o más canales con barras y pequeñas islas	>1.3	Carga de fondo
 Anastomosado	Anastomosado	Dos o más canales con largas y estables islas	>2.0	Carga suspendida

Figura 2.8. Clasificación de los patrones de los canales, adaptados por Miall (1977), tomado de Morisawa (1985).

En la Figura 2.8 se observan sólo dos de las características que distinguen a los tipos de patrones, las cuales se describen a continuación. El Índice de sinuosidad (SI) ayudó en la caracterización del río Pánuco y ha sido definido de la siguiente forma:

$IS = \text{Longitud del talweg} / \text{Longitud del eje del cinturón del meandro}$ (Leopold and Wolman, 1957 en Morisawa, 1985).

$IS = \text{Longitud del canal} / \text{Longitud del eje del cinturón del meandro}$ (Brice, 1964 en Morisawa, 1985).

En la Figura 2.9 se muestran los elementos de los dos métodos:

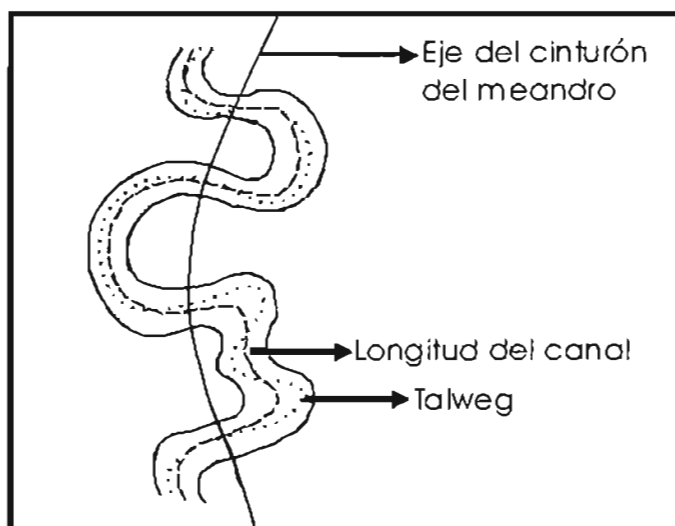


Figura 2.9. Elementos para la obtención del Índice de sinuosidad (Morisawa, 1985).

En 1964 Brice usó el Índice de sinuosidad para distinguir los tipos de cauces. Si el cauce tiene un $IS < 1.05$ es rectilíneo, si el valor del IS está entre 1.05 y 1.5 es sinuoso, si el $IS > 1.5$ el patrón es meandriforme.

La otra característica es el tipo de carga, que es el volumen total de masa sólida que transporta una corriente en un determinado momento. Los tres tipos de carga son: disolución, suspensión y de fondo. En la Figura 2.10 se pueden observar los tipos de transporte en cuatro distintas profundidades. La profundidad 1 es de alta velocidad y turbulencia baja, transporta iones en disolución y partículas como limos

y arcillas; la profundidad 2 es de velocidad y turbulencia intermedias, transporta iones en disolución, así como suspensión de partículas como limos y arcillas y gránulos de arenas finas; la profundidad 3 es de velocidad decreciente, la saltación de granos es característica; y la profundidad 4 es de turbulencia en aumento, domina la rodadura de cantos y el arrastre de bloques en el fondo.

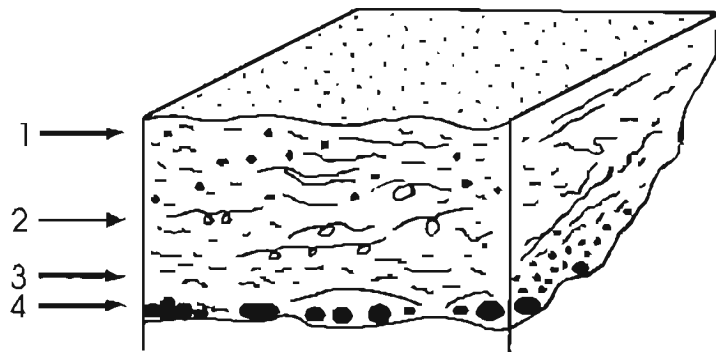


Figura 2.10. Tipos de carga en diferentes profundidades del cauce (Pedraza, 1996).

La carga en disolución está formada por iones derivados por la corrosión, otros vienen desde la atmósfera y de los residuos orgánicos biológicos y antrópicos como: $(\text{HCO}_3)^-$, Ca^{++} , Mg^{++} , $(\text{SO}_4)^{-}$, entre otros (Pedraza, 1996). La carga en suspensión son las partículas orgánicas o minerales (coloides, arcillas y limos) inferiores a 0.064 mm. La carga de fondo (o acarreo) está constituida por elementos gruesos que regularmente no pueden ir suspendidos por el agua, son desplazados por arrastre, empuje o saltación a nivel del fondo. Estos tipos de carga al desbordarse el río, se comportan de la misma forma, por lo que las partículas finas son las que se depositan hasta el límite de la inundación y las más gruesas, por lo regular, no sobrepasan los leveés, por lo que esto se complementa con el análisis de texturas que se hizo en este trabajo.

El río Pánuco, al ser de geometría meandriforme, está muy relacionado con las formas y los procesos que ocurren, tanto dentro del cauce como en la llanura de inundación. En la Figura 2.11 se observan algunos de los elementos característicos de las corrientes meandriformes.

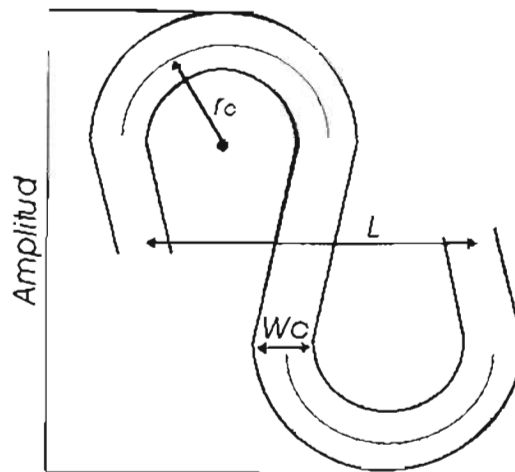


Figura 2.11. Elementos geométricos de los cauces meandriformes, donde L es la longitud de onda del meandro; W_c , anchura del cauce sobre la lámina de agua; y r_c es el radio de la curva (Pedraza, 1996).

Debido a las curvas características de los cauces meandriformes, en la margen externa del meandro se presentan las velocidades máximas, mientras que en la margen interna se presentan las velocidades mínimas, a su vez, en el punto de inflexión la velocidad máxima se presenta a todo lo ancho del cauce (Figura 2.12).

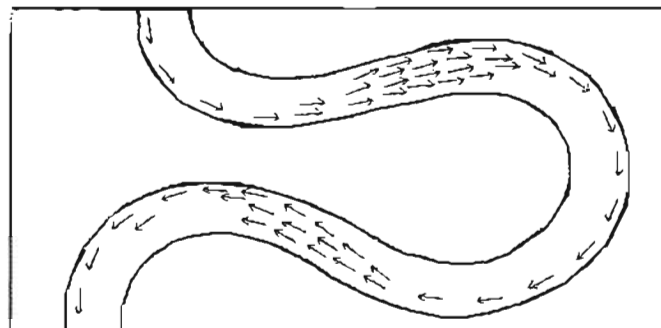


Figura 2.12. Las flechas indican la dirección y la parte del cauce en que la corriente es más fuerte (Strahler and Strahler, 1989).

Las diferencias en la velocidad del cauce no sólo se presentan por las curvas características de los meandros, sino también por el rozamiento del agua con las márgenes y el lecho del cauce (Figura 2.13), estas diferencias en las velocidades generan turbulencias, las cuales son un sistema continuo de remolinos, que incluyen movimientos ascendentes, descendentes y laterales.

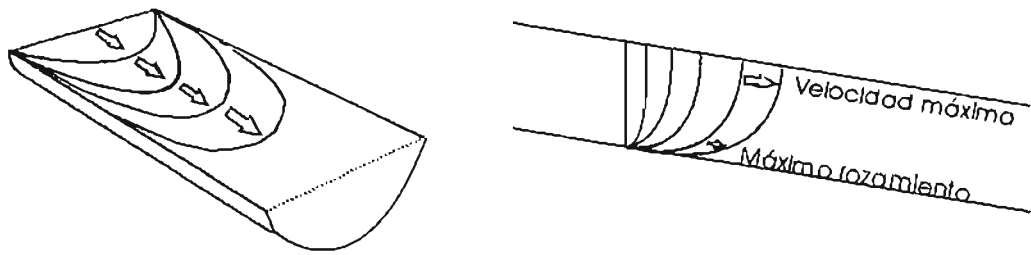


Figura 2.13. Velocidades máximas y mínimas del flujo del agua en el cauce debido al rozamiento con el lecho y las márgenes (Strahler and Strahler, 1989).

Las diferentes velocidades del flujo del agua que se presentan en los cauces meandriiformes no son los únicos movimientos de agua que se presentan, ya que un movimiento característico en los cauces meandriiformes es el flujo helicoidal (Figura 2.14), el cual es un flujo en el que el material que erosiona de la margen externa del meandro lo deposita en la margen interna del mismo. La existencia de este flujo explica formas características de los cauces meandriiformes, como son las crestas (*scroll*) de barras de meandro en la margen interna del meandro y las pozas (*pools*) en la margen externa, las cuales se presentan a lo largo del cauce. Algunas de estas formas fluviales fueron delimitadas en la fotointerpretación geomorfológica fluvial de la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

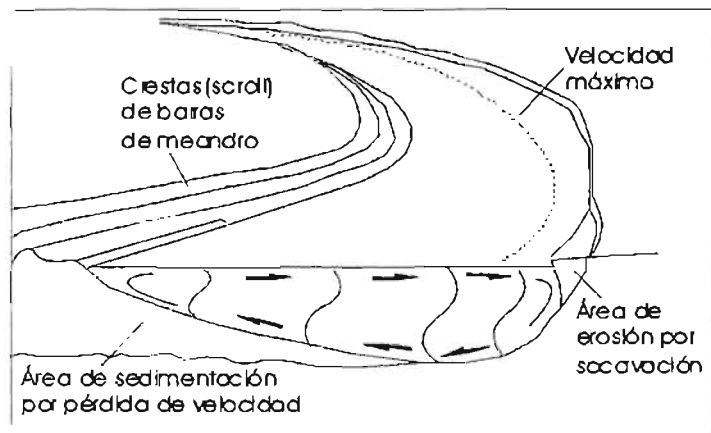


Figura 2.14. Flujo helicoidal en los cauces meandriiformes (Pedraza, 1996).

Los *pools* y *scroll* son el resultado del acarreo y depósito de material que realiza el flujo helicoidal. En la Figura 2.15 se observan secciones transversales del cauce que muestran en qué parte de los meandros se localizan los *pools* y *scroll*, a su

vez, también se ve un perfil longitudinal del cauce que muestra las diferentes ondulaciones que tiene el lecho.

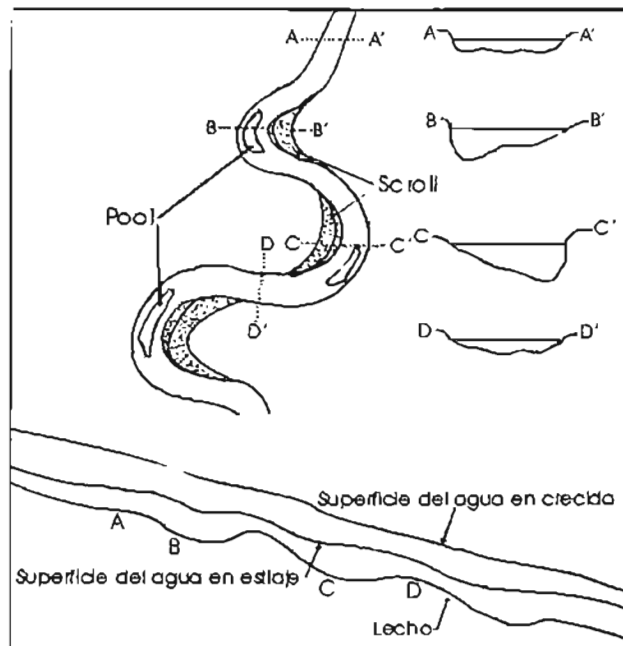


Figura 2.15. Secciones transversales del lecho del cauce (Morisawa, 1985).

Otro de los procesos que se presenta con los cauces meandriformes es la divagación de los meandros, la cual genera diversas formas en la llanura, ya que los meandros no sólo crecen lateralmente sino que también se van desplazando río abajo. En la Figura 2.16, se pueden observar los patrones básicos del desplazamiento de un arco de meandro, donde A es traslación, B es rotación, C es extensión, y D es una combinación de dos o tres procesos. Las líneas continuas es el estado inicial del cauce y las punteadas es el estado final.

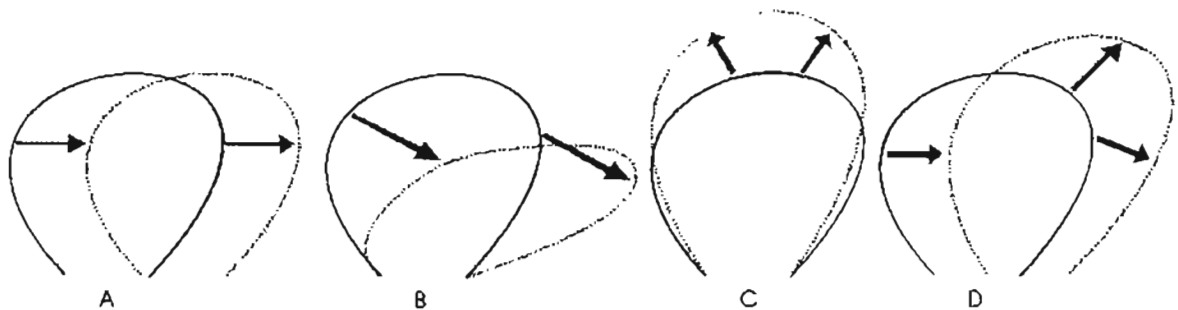


Figura 2.16. Patrones básicos de desplazamiento del arco del meandro (Pedraza, 1996).

Al igual que la divagación de los meandros, el estrangulamiento (*neck cut-off*) y el acortamiento (*chute cut-off*) son procesos que se presentan en el curso bajo del río Pánuco (Figura 2.17). El estrangulamiento y el acortamiento de los meandros son los procesos formadores de los llamados meandros abandonados (*lagos Oxbow*), uno de los cuales se presenta al sur de la población de Pánuco.



Figura 2.17. Estrangulamiento (A) y acortamiento (B) de los meandros (Pedraza, 1996).

El entendimiento de estos procesos para el presente estudio fue indispensable, ya que la divagación, estrangulamiento y acortamiento tienen una representación espacial en la llanura fluvial, generando unidades geomorfológicas fluviales que fueron delimitadas en el mapa correspondiente. El desarrollo de estos procesos durante las crecidas es más rápido, y en algunos casos, se pueden originar cambios espaciales muy evidentes, ya que el cauce puede cambiar de posición y dirección.

Después de la búsqueda bibliográfica que ayudó en la delimitación de las unidades geomorfológicas en las fotografías aéreas, se escanearon con una resolución de 600 dpi, posteriormente en el programa ILWIS (ITC, 2000), las fotografías aéreas escaneadas se georreferenciaron y se digitizaron en pantalla todos los trazos.

La clasificación de las Unidades Geomorfológicas se hizo tomando en cuenta trabajos previos hechos con el mismo detalle con el que se trabajó en el presente estudio, a su vez, también se consideró el trabajo hecho por Meijerink (1988), en el que se toman algunos criterios como origen general y específico, tipos generales y tipos específicos del relieve, temporalidad y geometría del relieve.

Al terminar la fotointerpretación se realizó el trabajo de campo, el cual se planeó con la finalidad de cumplir con una serie de objetivos previamente determinados. Esos objetivos fueron: la verificación y corrección de las unidades delimitadas que aún no eran clasificadas; la recolección de muestras de sedimentos en unidades

geomorfológicas específicas; y la obtención de testimonios de los habitantes de la región sobre las inundaciones y su actividad económica.

En la planeación del trabajo de campo se formuló un recorrido específico, que consistió en visitar los puntos de mayor interés. Al llegar a cada lugar planeado, se seleccionó un sitio específico para la recolección de las muestras de sedimentos, y se cavaba un pozo de 30 cm aproximadamente (Figura 2.18) para tomar dos muestras de sedimentos, una entre 0 y 10 cm y la otra entre 10 y 20 cm y finalmente se realizaba una descripción local del área. Durante el trabajo de campo se realizaron 38 puntos de observación y verificación, de los cuales 31 fueron para la obtención de las muestras de sedimentos.

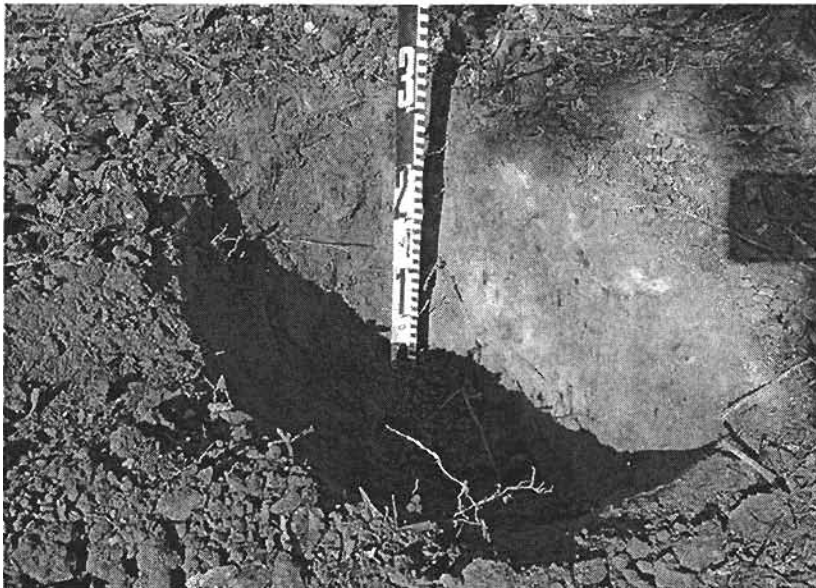


Figura 2.18. Pozo realizado durante el trabajo de campo para la obtención de muestras de sedimentos (Sitio 26).

Todas las muestras recolectadas en el trabajo de campo fueron analizadas en el laboratorio para obtener su textura (proporción relativa de arena, limo y arcilla), la técnica utilizada fue la del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962). El propósito de este análisis fue determinar la distribución espacial de los diferentes tamaños de los sedimentos.

El procedimiento en el laboratorio que se llevó a cabo para la obtención de las texturas de las muestras de sedimentos se describe en el Anexo B.

2.7. Identificación de áreas propensas a inundación

La identificación de las áreas propensas a inundación, en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, es uno de los objetivos principales de este estudio. Se hizo a partir de la evaluación geomorfológica fluvial, apoyada en las fotografías aéreas, las curvas de nivel, la imagen de satélite, el uso de suelo y vegetación y complementado con el análisis textural y el análisis hidrológico. Para la delimitación de las áreas propensas a inundación se tomó como base la delimitación hecha en el mapa geomorfológico fluvial, reclasificando las unidades en cuatro categorías: áreas sin inundaciones, áreas poco propensas a inundación, áreas medianamente propensas a inundación y áreas muy propensas a inundación.

Las unidades clasificadas en el mapa geomorfológico fluvial como lomeríos (de diversos tipos), los cauces perennes, corriente yazoo, depresiones marginales perennes, lecho menor y la planicie costera acumulativa marina, fueron reclasificadas como áreas sin inundaciones. Los criterios que se tomaron para su reclasificación son diferentes para cada unidad, en el caso de los lomeríos fue la altura relativa que tienen con respecto a las unidades que las rodean, ya que ninguna inundación ha sido lo suficientemente alta como para cubrirlos en su totalidad. Para la planicie costera acumulativa marina se consideró el que no pertenece al sistema fluvial del río Pánuco, por lo que las crecidas que ocurren en el curso bajo del río Pánuco no la afectan directamente. Para el resto de las unidades, el criterio que se consideró fue el que son áreas que todo el año están cubiertas por agua.

Las áreas poco propensas a inundación corresponden al leveé principal y a los leveés abandonados señalados en el mapa geomorfológico fluvial, ya que son un poco más altas que las unidades que las rodean, pero esa altura relativa no es suficiente para no ser afectada por las inundaciones que registraron los gastos más altos como ocurrió en los años de 1955 y 1974.

Para la identificación de la categoría de áreas medianamente propensas a inundación se consideró la altura relativa, ya que se caracterizan por ser un piso altitudinal intermedio entre las áreas más bajas y las áreas poco inundables. Las unidades geomorfológicas fluviales que las conforman son la llanura alta de

inundación y los leveés secundarios, las cuales, aparte de la altura presentan otras características como el uso de suelo y vegetación que indican que son afectadas por las inundaciones que ocurren, pero no de forma tan frecuente como en otras áreas.

Para la identificación de las áreas muy propensas a inundación se consideraron diferentes criterios, como la dinámica fluvial, la altura relativa, el uso de suelo y la vegetación, para cada una de las unidades geomorfológicas que la constituyen, pero a pesar de ser unidades muy diferentes, pudieron ser agrupadas en esta categoría por el papel que juegan una o varias de sus características, como la altura relativa, ya que son las áreas más bajas de toda la planicie o la vegetación, ya que en muchas de ellas se presentan plantas que son resistentes a altos grados de humedad, como la vegetación halófila y gipsófila.

Las áreas muy inundables fueron el resultado de la agrupación de las unidades geomorfológicas como, bancos aluviales, barras de meandro, barras marginales, brazos de crecidas, cauces abandonados, cauces activos en crecidas, depresiones inferiores, depresiones marginales intermitentes, lecho mayor, llanura baja de inundación, meandros abandonados, vertederos de displayamiento y la llanura costera fluvio deltáica.

El análisis textural de las muestras de sedimentos que se recolectaron en el trabajo de campo, así como el análisis hidrológico para determinar periodos de retorno, son un complemento para la identificación de áreas propensas a inundaciones. El análisis textural de las muestras de sedimentos ayudó a identificar aquellas áreas en las que el desbordamiento del escurrimiento se produce con una gran energía, ya que los porcentajes de arenas fueron muy altos a pesar de encontrarse a casi un kilómetro de distancia del lecho menor. El análisis hidrológico ayudó a inferir los periodos de retorno para cada una de las áreas propensas a inundación.

CAPÍTULO 3. HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA

3.1. Introducción

Los aspectos hidrológicos y meteorológicos son fundamentales para este estudio, en este capítulo se desarrolla su importancia y su utilidad. A su vez, se describen las once crecidas más grandes que se han presentado en el curso bajo del río Pánuco desde el año 1955. Las once crecidas se presentaron en años diferentes, ocho de las cuales son consideradas por diferentes autores, como años en que ocurrieron inundaciones (Mansilla, 1994; Salas, 1992), los otros tres años que no fueron considerados por esos autores, presentan gastos muy elevados y en algunos casos, son más altos que algunos de los primeros ocho años mencionados. A cada uno de los once eventos considerados se le han incluido los eventos ciclónicos (si existieron) que provocaron los gastos máximos anuales, la distribución de la precipitación en periodos determinados, los gastos generados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco, como de las cuencas de Tampaón y Tempoal (esta última pertenece a la cuenca de Moctezuma). El desarrollo de cada uno de los once eventos se describe en el Anexo C, en este capítulo sólo se hace una síntesis con los datos de mayor interés.

A su vez, en este capítulo se ofrecen los resultados de algunos análisis que se realizaron, como es el caso del análisis estadístico que consistió en obtener una estimación de gastos máximos para diez periodos de retorno, tomando sólo en cuenta los datos de las estaciones hidrométricas que se encuentran en el curso bajo del río Pánuco.

Partiendo de la hipótesis de que la cuenca del río Tempoal es la que más influye en las inundaciones que ocurren en el curso bajo del río Pánuco, se hizo un análisis de la respuesta hidrológica de cada uno de los once eventos en la cuenca del río Tempoal. Para este análisis se toman los tiempos de respuesta de cada una de las estaciones hidrométricas que existen dentro de esa cuenca. Asimismo, se analizan cada uno de los factores que determinan esta respuesta, como lo es su posición geográfica, su topografía, su hidrología, su geología, su edafología y el cambio de uso de suelo que ha existido a través del tiempo.

3.2. Hidrología

La hidrología es la ciencia que estudia el comportamiento del agua, su dinámica por la que pasa en la superficie terrestre, su régimen y su balance hídrico (Pedraza, 1996). Uno de sus objetivos es la determinación de los gastos máximos en un cauce con el fin de diseñar construcciones hidráulicas (Strahler y Strahler, 1989). En este trabajo se ha utilizado con el fin de determinar el comportamiento de las crecidas en el curso bajo del río Pánuco.

Para facilitar su estudio, la República Mexicana se encuentra dividida en 37 Regiones Hidrológicas (RH), las cuales no coinciden con las divisiones políticas de los estados, sino con los parteaguas de las cuencas y subcuencas principales. Las RH son muy diversas, algunas de ellas abarcan varios estados del país, mientras que otras están dentro de uno solo. El área de estudio se localiza en la parte baja de la RH del Pánuco, número 26 (Figura 3.1).



Figura 3.1. División de la República Mexicana en las 37 Regiones Hidrológicas, la RH 26 es la del Pánuco (CNA, 2002).

En el área de estudio existen dos estaciones hidrométricas, la estación Adjuntas y la estación Pánuco (Figura 3.2). La primera de ellas se ubica en el curso del río Pánuco, río abajo de la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón, permite conocer el escurrimiento casi total de la cuenca desde mayo de 1956, tiene la elevación del cero de la escala a 0.01 msnm (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1961). La segunda también se ubica en el curso del río Pánuco, en el poblado con el mismo nombre, cuenta con registros desde febrero de 1972 (CNA e IMTA, 1997).

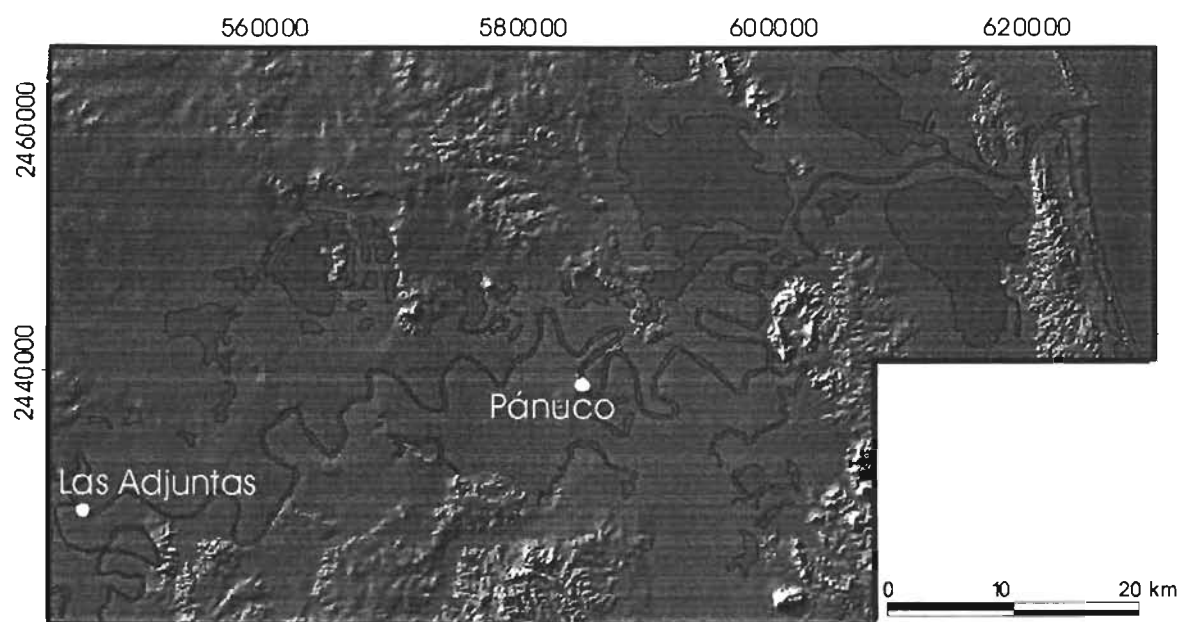


Figura 3.2. Localización de las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco (INEGI, 1983).

3.3. Meteorología

La meteorología es la ciencia que estudia los fenómenos que se producen en la atmósfera, así como el tiempo y el clima de cualquier área del mundo, por esto mismo, la meteorología es fundamental en este estudio, ya que los fenómenos ocurridos en la atmósfera, como los ciclones son uno de los factores directos que provocan las intensas lluvias que originan las inundaciones en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco. Las precipitaciones son registradas en las estaciones meteorológicas, de las cuales existen nueve en el área específica de estudio, pero para tener una mejor expresión espacial del comportamiento de la precipitación,

se tomó en cuenta un área más amplia, en las que se consideraron 69 estaciones (Figura 3.3).

En la Tabla 3.1 se nombran las 69 estaciones climatológicas que fueron consultadas para la realización del presente estudio, a su vez se describen los años de registro de cada estación.

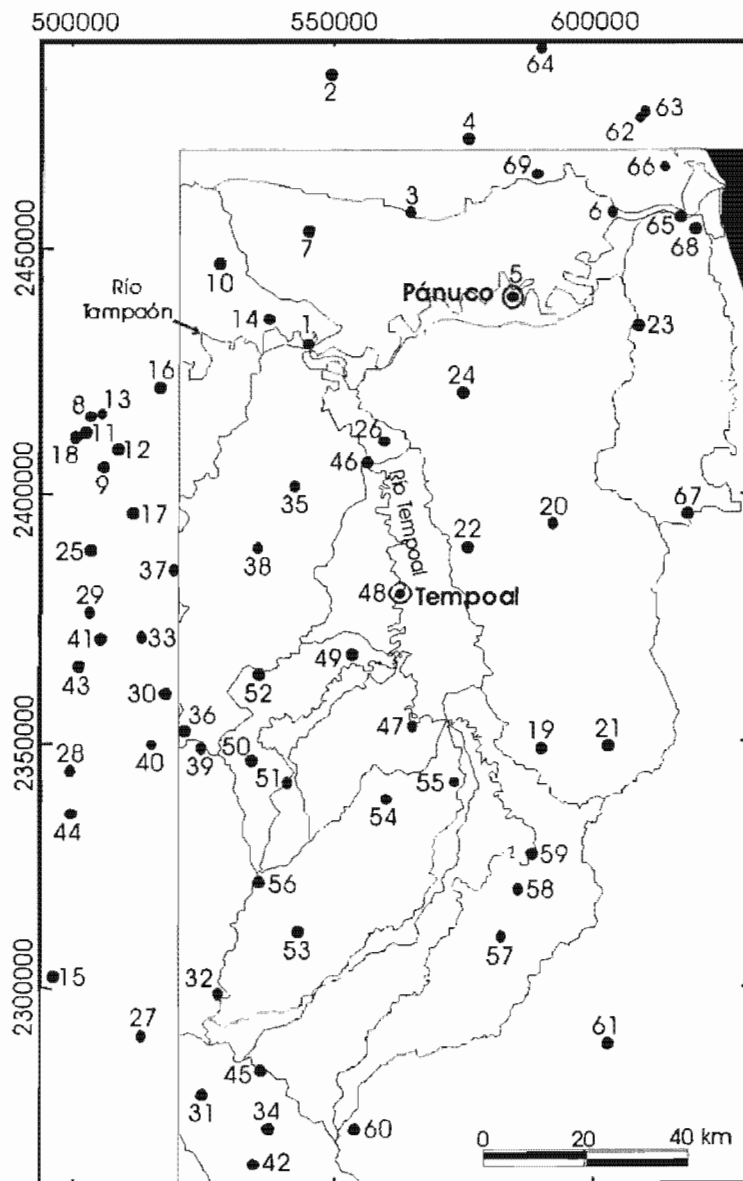


Figura 3.3. Localización de las estaciones climatológicas, en relación al área completa de estudio, sus nombres y años de registro se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Nombre y años de registro de las estaciones climatológicas consideradas en este estudio (ERIC, 1996).

1	Adjuntas	1961 - 1985, 1987 - 1997	36	Tamazuchale	1974 - 1989, 1991 - 1997
2	Cacalilao	1972 - 1983	37	Tampamolón	1979 - 1997
3	Ébano	1961 - 1997	38	Tanquián	1961 - 1989, 1991 - 1997
4	La Michoacana	1972 - 1983, 1985, 1990 - 1991	39	Temamatla	1961 - 1997
5	Pánuco	1961 - 1987, 1994 - 1996	40	Tierra Blanca	1961 - 1997
6	Tamos	1961 - 1983	41	Tlamaya	1972 - 1993, 1995 - 1997
7	Velazco	1961 - 1987, 1991 - 1997	42	Venados	1973 - 1987
8	Altamira	1961 - 1967, 1969 - 1997	43	Xilitla	1964 - 1997
9	Ballesmi	1961 - 1997	44	Zacate Grande	1972 - 1984
10	Coco	1985 - 1997	45	Zacuaitipán	1942 - 1997
11	Gloria	1973 - 1997	46	El Higo	1961 - 1983, 1985, 1991
12	Moritas	1964 - 1970, 1972 - 1997	47	Platón Sánchez	1960 - 1983, 1991, 1993 - 1996
13	Pujal	1958 - 1997	48	Tempoal	1961 - 1983, 1991, 1993 - 1996
14	S.J. Limón	1973 - 1983	49	Cardón	1961 - 1984, 1991, 1993 - 1996
15	Santa Cruz	1961 - 1992, 1994 - 1997	50	Chapulhuacanito	1972 - 1993, 1995 - 1997
16	Santa Elena	1977 - 1993, 1995 - 1997	51	Orizatlán	1942 - 1970, 1972 - 1988
17	Tanlajas	1972 - 1989, 1991 - 1997	52	Chalchicuautla	1961 - 1967, 1969 - 1992, 1994 - 1997
18	Tantizohuiche	1961 - 1988, 1991 - 1997	53	Canali	1949 - 1970
19	Cañada Rica	1969 - 1975	54	Huejutla	1969 - 1970, 1972 - 1993
20	Chicayán	1961 - 1984	55	Los Hules	1960 - 1984, 1991, 1993 - 1996
21	Ixcatepec	1961 - 1984	56	Tlachinol	1942 - 1970, 1972 - 1985
22	Placetas	1972 - 1978	57	Benito Juárez	1962 - 1984
23	Quebrache	1972 - 1983	58	Chicontepec	1961 - 1989, 1997
24	Santa Trinidad	1961 - 1964, 1966 - 1983	59	Terrerillos	1961 - 1969, 1971 - 1984, 1991, 1993 - 1996
25	Cd. Santos	1961 - 1990, 1994 - 1997	60	Hueyacocotla	1961 - 1989
26	El Olivo	1968 - 1983, 1985, 1991 - 1996	61	Ixhuatlán	1961 - 1969, 1971 - 1990, 1992 - 1997
27	El Tajo	1973 - 1987	62	Altamira	1961 - 1968, 1970 - 1971
28	Gral. Pisafleres	1942 - 1945, 1950 - 1960	63	Ejido 3 de mayo	1971 - 1973, 1976, 1978 - 1983
29	Huichihuayan	1981 - 1987, 1990 - 1993, 1995 - 1997	64	Los Esteros	1961 - 1964, 1966 - 1968, 1970 - 1983
30	Matlapa	1993 - 1997	65	Tampico	1961 - 1965, 1967 - 1968, 1970 - 1982, 1984, 1986 - 1997
31	Meztitlán	1973 - 1981, 1983 - 1986	66	Tancol	1979 - 1984, 1986 - 1993
32	Molango	1961 - 1970	67	Ozuluama	1961, 1963, 1965 - 1975
33	Requetemu	1958 - 1997	68	Villa Cuauhtémoc	1961 - 1963, 1965, 1968 - 1980, 1982 - 1986
34	San A. Mezquititlan	1942 - 1968, 1970, 1972 - 1976	69	La Potosina	1975 - 1976, 1978 - 1983
35	San Vicente	1972 - 1993, 1995 - 1997			

3.4. Características de las inundaciones

La llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco es una de las áreas con mayor incidencia de inundaciones en todo el país, y en la cual las inundaciones han pasado a formar parte de la vida cotidiana de sus habitantes (Mansilla, 1994).

Al observar los gastos máximos anuales de todos los años de registro de las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco, localizadas en el curso bajo del río Pánuco, se pueden identificar once años con elevados gastos, de los cuales el año 1955 fue el máximo del periodo considerado (1955–1994). En la Figura 3.4 se observa que los periodos de tiempo de registro no son los mismos en las dos estaciones, en la estación Las Adjuntas son dos periodos de registro, el primero de 1956 a 1988 y el segundo de 1990 a 1994, en cambio, en la estación Pánuco el primer registro fue en el año 1955 y fue calculado por la Secretaria de Recursos Hidráulicos (SRH, 1961), los otros registros hidrométricos fueron en el periodo de 1972 a 1994.

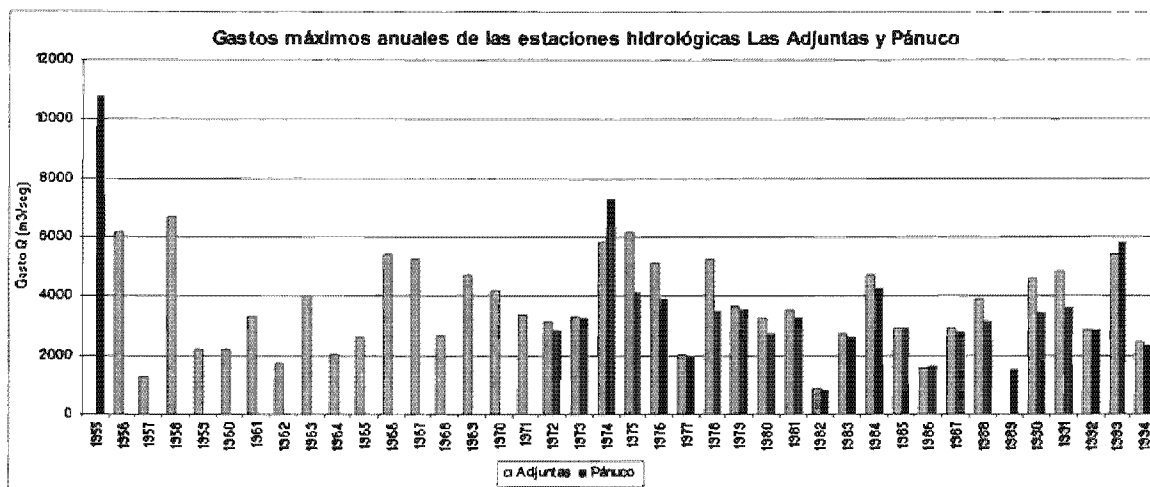


Figura 3.4. Gastos máximos anuales de las estaciones hidrométricas del curso bajo del río Pánuco (CNA e IMTA, 1997), el gasto del año 1955 fue estimado por la SRH (1961).

En la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco, desde el año 1955, se han presentado once años con gastos muy elevados, ocho de los cuales (1955, 1958, 1966, 1967, 1969, 1974, 1976 y 1993) fueron descritos por Mansilla (1994) y Salas (1992) como años en los que ocurrieron inundaciones, pero al revisar los datos hidrométricos (CNA e IMTA, 1997, 1997), se observó que existieron tres años (1956, 1975 y 1978) con gastos muy altos, que no fueron considerados por estos autores, pero en este capítulo se les toma en cuenta.

En la Tabla 3.2 se observan los datos hidrométricos de los once años en los que se registraron los gastos más altos en el curso bajo del río Pánuco, desde el año 1955 hasta 1994. Los datos hidrométricos corresponden a las estaciones Las Adjuntas y Pánuco en el momento cuando se registraron los máximos gastos anuales, asimismo se mencionan los eventos meteorológicos que influyeron en las crecidas de esos años.

Tabla 3.2. Datos hidrométricos de los años con elevados gastos en el curso bajo del río Pánuco y nombres de los ciclones que influyeron en las crecidas (ERIC, 1996).

Estación hidrométrica	Año	Mes	Día	Hora	Gasto Máximo	Lectura de la escala	Ciclones
Pánuco	1955	Octubre	3	12	10,800*	—	Gladis, Hilda y Jannet
Las Adjuntas	1956	Septiembre	15	2	6,201	17.03	Dora
Las Adjuntas	1958	Octubre	17	15	6,692	17.38	—
Las Adjuntas	1966	Junio	28	12	5,410	16.53	Alma y Adele
Las Adjuntas	1967	Septiembre	26	7	5,233	16.65	Beulah
Las Adjuntas	1969	Septiembre	11	6	4,721	17.24	—
Las Adjuntas	1974	Septiembre	27	9	5,820	18.02	Fifi y Orlene
Pánuco	1974	Septiembre	29	3	7,300	7.94	
Las Adjuntas	1975	Septiembre	15	12	6,190	18.27	—
Pánuco	1975	Septiembre	18	6	4,138	8.95	
Las Adjuntas	1976	Julio	14	12	5,147	17.57	—
Pánuco	1976	Julio	17	—	3,886	8.15	
Las Adjuntas	1978	Septiembre	26	18	5,214	17.10	Paul
Pánuco	1978	Septiembre	28	—	3,471	7.18	
Las Adjuntas	1993	Septiembre	24	17	5,438	19.27	Gert
Pánuco	1993	Septiembre	26	17	5,836	8.77	

* Gasto estimado por la SRH (1961).

En el año 1955, las cuencas de los ríos Pánuco, Moctezuma y Tampaón recibieron fuertes precipitaciones en todo el mes de septiembre, provocadas por los ciclones Gladis, Hilda y Jannet. Esas precipitaciones fueron causantes de las inundaciones más catastróficas de las que se tiene memoria en la región del curso bajo del Río Pánuco (Carrillo y Ruiz, 2002), también se vieron afectadas las cuencas altas y medias del río Tempoal. El mayor volumen de precipitaciones se presentó del 27 de septiembre al primero de octubre (ERIC, 1996).

Los gastos generados por los tres ciclones fueron registrados sólo por las estaciones de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tampaón). En la Figura 3.5 se observa que las lluvias generadas por el primer ciclón provocaron gastos más elevados en la cuenca del río Tempoal que en la del río Tampaón. El ciclón Hilda generó una mayor precipitación en la cuenca del río Tampaón (Figura C.4 en el Anexo C), por eso, los gastos generados en esta cuenca fueron seis veces más altos a los que se registraron en la cuenca del río Tempoal. El ciclón Jannet provocó gastos muy similares en las dos cuencas, pero fueron superiores a los que se habían registrados por los otros dos ciclones, lo cual generó un gasto estimado por la Secretaria de Recursos Hidráulicos (SRH, 1961) de 10,800 m³/s el día tres de octubre en la población Pánuco.

La inundación del año 1955 provocó grandes daños a la economía del área, así como también la pérdida de vidas humanas, epidemias sin precedentes y lo que fue lamentable fue la pérdida del suelo superficial (Carrillo y Ruiz, 2002).

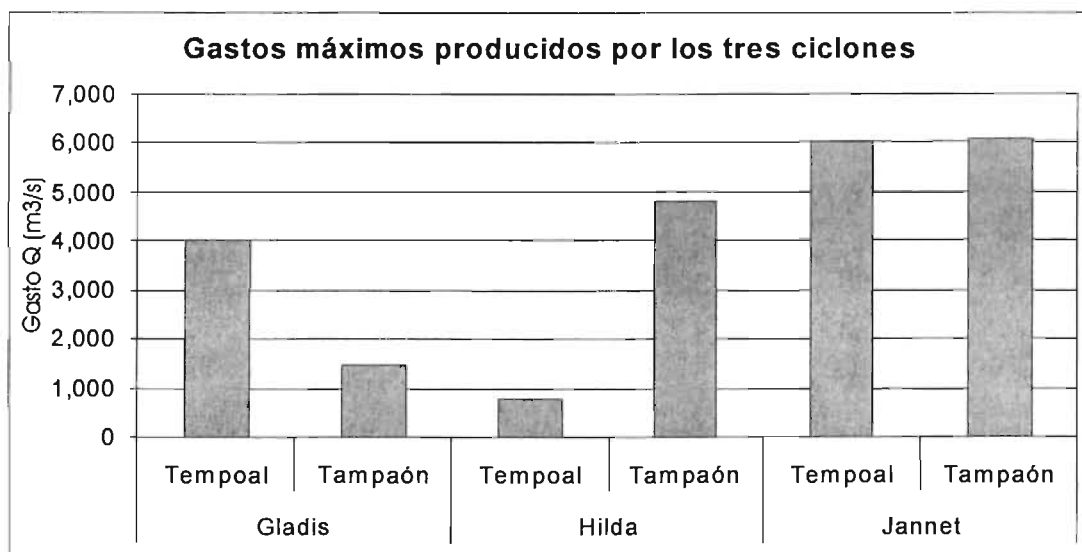


Figura 3.5. Gastos máximos originados por los ciclones Gladis, Hilda y Jannet en las estaciones hidrométricas de Tempoal y Pujal (Salas, 1992).

En el mes de septiembre del año 1956 se presentó el ciclón Dora, que contribuyó a las precipitaciones que generaron el gasto máximo del año. La crecida de este año comenzó a registrarse el día 10 de septiembre en las estaciones

hidrométricas de Tempoal en el río Tempoal y Pujal en el río Tambaón (Figuras C.10 y C.11 en el anexo C), pero fue hasta el día 15 que se presentó el gasto máximo en el curso bajo del río Pánuco, en la estación Las Adjuntas a las 2 hr con $6,201 \text{ m}^3/\text{s}$ y una lectura de escala de 17.03 m. Este gasto es el segundo más alto que se ha presentado entre los años 1956 y 1994.

La crecida del mes de octubre del año 1958 no fue originada por algún ciclón, sino por la abundante lluvia que se presentó en todo el país (Salas, 1992). En las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tambaón), la creciente comenzó a manifestarse desde el día 10 de octubre (Figuras C.12 y C.13 en el Anexo C), pero en tan sólo un día después, la crecida comenzó en el curso bajo del río Pánuco, y después de aumentar su caudal más de ocho veces en siete días registró su gasto máximo anual de $6,692 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura C.14 en el Anexo C), con una lectura de escala de 17.38 m. El gasto de este año, es el gasto máximo de todos los años de registro en la estación Las Adjuntas.

En junio de 1966, se registraron dos ciclones, Alma en el océano Atlántico y Adele del lado del Pacífico, los dos se presentaron unos pocos días antes de que se registraran las intensas precipitaciones en el área de estudio (Figura C.17 en el Anexo C). En las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tambaón), el gasto comenzó a aumentar el día 24 de junio (Figuras C.18 y C.19 en el Anexo C) y para la estación Las Adjuntas el aumento empezó el día 25 (Figura C.20 en el Anexo C) hasta registrar el gasto máximo anual de $5,410 \text{ m}^3/\text{s}$ el 28 de junio, con una lectura de escala de 16.53 m.

En el mes de septiembre de 1967, se presentó el ciclón Beulah que originó la inundación de este año (Salas, 1992). La precipitación que provocó este ciclón fue muy intensa en toda el área de estudio (Figura C.22 en el Anexo C) y entre los días 21 al 27 de septiembre sus efectos se dejaron sentir, sobre todo en la parte baja de la cuenca del río Pánuco. En el día 21 de septiembre el aumento del gasto comenzó en las estaciones hidrométricas de Tempoal en el río Tempoal (Figura C.23) y Pujal en el río Tambaón (Figuras C.23 y C.24 en el Anexo C), y un día después en la estación Las Adjuntas (Figura C.25 en el Anexo C), donde el día 26 alcanzó el gasto máximo con $5,233 \text{ m}^3/\text{s}$ y una lectura de escala de 16.65 m.

A finales del mes de agosto y principios de septiembre de 1969, se registraron intensas precipitaciones en el área de estudio, que provocaron la inundación de este año. En las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Las Adjuntas (río Pánuco) la crecida comenzó a registrarse el día 6 de septiembre, con la diferencia que en la primera estación el gasto máximo anual de 1,948 m³/s se presentó dos días después, y en la segunda estación fue de 4,721 m³/s el día 11 de septiembre (Figuras C.27 y C.28 en el Anexo C). La lectura de escala en la estación Las Adjuntas fue de 17.24 m.

En el mes de septiembre de 1974, se presentaron los ciclones Fifi y Orlene, los cuales provocaron intensas lluvias que originaron la inundación de este año (Mansilla, 1994). La crecida comenzó a registrarse el día 20 de septiembre en las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tampaón), pero fue hasta el día 21, cuando inició la crecida en las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del curso bajo del río Pánuco. En la estación Las Adjuntas, se registró uno de los gastos más altos en su historia, con 5,820 m³/s y una escala de 18.02 m. Dos días después en la estación del Pánuco se registró un gasto de 7,300 m³/s y una escala de 7.94 m (Figura C.34 en el Anexo C).

En el mes de septiembre de 1975 no se presentó ningún ciclón que tuviera una influencia de manera directa en la crecida del curso bajo del río Pánuco, pero la precipitación fue muy intensa al Suroeste de la cuenca del río Tempoal (Figura C.35 en el Anexo C). En la estación hidrométrica Tempoal (río Tempoal) la crecida comenzó el día 7 de septiembre, mientras que en la estación Pujal (río Tampaón) inicio un día después (Figuras C.36 y C.37 en el Anexo C). El efecto de las intensas precipitaciones en las estaciones del curso bajo del río Pánuco comenzó a registrarse el día 9 de septiembre, hasta que en la estación Las Ajuntas el día 15 llegó a su gasto máximo anual de 6,190 m³/s y una escala de 18.27 m y en la estación Pánuco, se presentó un gasto máximo anual de 4,138 m³/s el día 18 de septiembre (Figura C.38 en el Anexo C).

En la crecida del curso bajo del río Pánuco del mes de julio de 1976 no existieron ciclones que influyeran en la inundación, pero fue uno de los años que se caracterizó por tener intensas lluvias en el área (Figura C.39 en el Anexo C). En

las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tampaón), el inicio de la crecida y el gasto máximo se registraron en días diferentes, debido a la distribución de la precipitación, pero en las estaciones del curso bajo del río Pánuco, la crecida inició el día 6 de julio y el gasto máximo anual en la estación Las Adjuntas fue de 5,147 m³/s y una lectura de escala de 17.57 m el día 14, mientras que en la estación Pánuco fue de 3,886 m³/s con una lectura de escala de 8.15 m el día 17 de julio.

Unos pocos días antes de que se registrara la crecida del mes de septiembre de 1978, se presentó el ciclón Paul en el océano Pacífico, el cual seguramente influyó en las precipitaciones que se dieron en el área de estudio. La crecida de este año comenzó el día 22 en las estaciones hidrométricas de Tempoal del río Tempoal y Pujal del río Tampaón y en la estación Las Adjuntas del curso bajo del río Pánuco, en cambio en la estación Pánuco se inició el día 23. El gasto máximo anual en la estación Las Adjuntas llegó a 5,214 m³/s con una lectura de escala de 17.1 m y se registró el día 26, y en la estación Pánuco fue de 3,471 m³/s y una escala de 7.18 m, el día 28 (Figura C.47 en el Anexo C). La gran diferencia de gastos entre las dos estaciones del curso bajo del río Pánuco hace pensar que existió un desbordamiento de gran importancia.

La inundación del mes de septiembre de 1993 fue provocada por las intensas precipitaciones que originó el ciclón Gert en toda el área de estudio. El día 19 de septiembre en las estaciones hidrométricas de Tempoal (río Tempoal) y Pujal (río Tampaón) se registraron los primeros indicios de la crecida del caudal, que tiempo después se registró en el curso bajo del río Pánuco. En la estación Las Adjuntas su máximo gasto anual se registró el día 24 con 5,438 m³/s y una lectura de escala de 19.27 m y en la estación Pánuco el día 26 se registró su máximo a las 17 hr con 5,836 m³/s y una escala de 8.77 m (Figura C.52 en el Anexo C).

El desbordamiento de 1993, que ocurrió en la llanura baja del curso bajo del río Pánuco rompió el dique de contención que protegía a la ciudad de Pánuco en una longitud superior a los 120 m, lo que obligó el desalojo de más de ocho mil personas (Mansilla, 1994).

3.4.1. Conclusiones de este subcapítulo

Al presentar la descripción de cada uno de los años, en que ocurrieron inundaciones, se puede afirmar que las lluvias de origen ciclónico son las principales generadoras de las inundaciones que han ocurrido en el curso bajo del río Pánuco, ya que en sólo cuatro años (1958, 1969, 1976, y 1975) de los once analizados, no se presentaron ciclones próximos a las fechas en que se registraron los máximos gastos anuales.

Las intensas precipitaciones que se registran al Suroeste y Oeste de la cuenca del río Tempoal influyen considerablemente en los gastos máximos registrados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco, localizadas en el curso bajo del río Pánuco.

3.5. Análisis Hidrológico (Resultados del procesamiento estadístico)

El análisis hidrológico de las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco, localizadas en el curso bajo del río Pánuco, consistió en obtener una estimación de gastos máximos para diez periodos de retorno, con el fin de predecir los gastos que pueden ocasionar que el escurrimiento del cauce se desborde y ocasione inundaciones en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco. El desarrollo y definición de cada uno de los cinco métodos estadísticos, se puede observar en el Anexo A, a continuación se dan los resultados de las diferentes distribuciones de probabilidad que se usaron para cada una de las dos estaciones hidrométricas.

Para la estación hidrométrica Las Adjuntas, los años de registro corresponden al periodo 1956-1994, en los que sólo el año 1989 no cuenta con el registro del valor máximo anual (Figura 3.6). El gasto medio anual de la estación Las Adjuntas es de $3,845 \text{ m}^3/\text{s}$ y la desviación estándar de $1,865 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los gastos máximos estimados para los diez periodos de tiempo de retorno de cada una de las distribuciones utilizadas para la estación Las Adjuntas se observa en la Tabla 3.3. Para la distribución Gamma de dos poblaciones el gasto máximo estimado de $3,551 \text{ m}^3/\text{s}$, se puede registrar por lo menos una vez cada dos años, con este gasto no existe posibilidad de que ocurra una inundación como las ocurridas en los once años analizados anteriormente en este mismo capítulo, ya

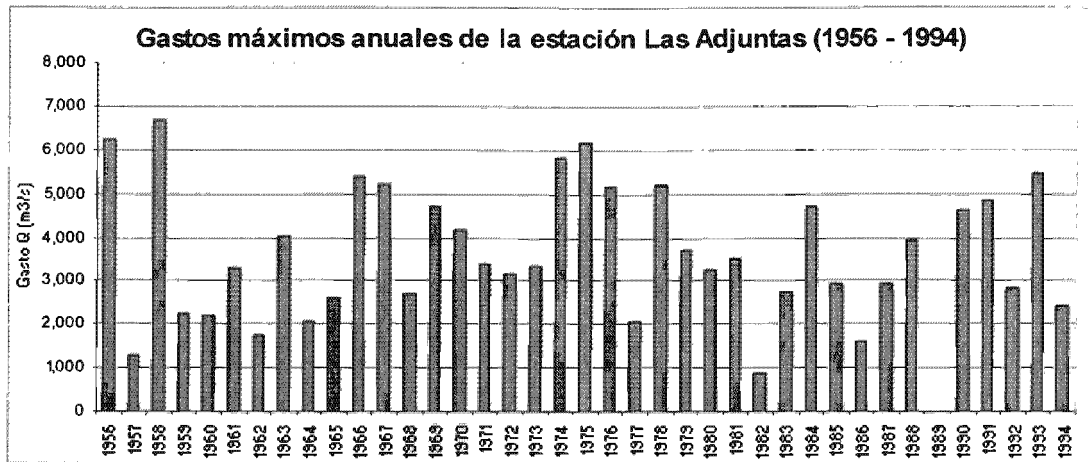


Figura 3.6. Gastos máximos anuales de la estación Las Adjuntas del río Pánuco (CNA e IMTA, 1997).

que el gasto estimado es inferior a los gastos máximos registrados en inundaciones. Para el periodo de retorno de cinco años se estimó un gasto máximo de $5,258 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual supera el gasto mínimo registrado en inundaciones, esto nos indica que por lo menos una vez cada cinco años puede originarse un gasto que afecte la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco. Para periodos de retorno de 10 años, se calculó un gasto de $6,336 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es apenas $300 \text{ m}^3/\text{s}$ inferior al máximo gasto registrado en los años con inundaciones ($6,692 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 1958), lo cual indica que para los siguientes periodos de retorno que se observan en la Tabla 3.3, los gastos estimados son muy superiores a los que se han registrado en años con inundaciones.

Según los cálculos realizados por el programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología (Ruiz, 2002) la mejor distribución fue la de Gumbel, en la que el gasto calculado para periodos de retorno de dos años es de $3,539 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabla 3.3), el cual es inferior a todos los gastos registrados en inundaciones, en cambio, para el periodo de retorno de cinco años el gasto calculado de $5,188 \text{ m}^3/\text{s}$ es superior al menor gasto registrado en inundaciones ($4,721 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 1969). Esto quiere decir, que una vez cada cinco años puede ocurrir un gasto que genere una inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco. El gasto estimado para un periodo de 10 años es apenas $400 \text{ m}^3/\text{s}$ inferior al mayor gasto registrado, por lo que los gastos calculados para los siguientes periodos de retorno nunca se han registrado.

El gasto estimado para el periodo de retorno de dos años con la distribución Gumbel de dos poblaciones es de 3,856 m³/s (Tabla 3.3), el cual es inferior a los gastos que se han presentado en inundaciones, pero el gasto estimado de 5,878 m³/s para el periodo de retorno de cinco años, es superior a más de cinco gastos registrados en inundaciones, por lo que cada cinco años se puede presentar por lo menos una inundación. También esta distribución indicó que de los 39 años de registro, ocho gastos registrados han sido específicamente de origen ciclónico (Anexo A).

La distribución Log-Normal presenta características similares a la distribución Gamma de dos poblaciones y a la de Gumbel (Tabla 3.3), ya que el gasto estimado para periodos de retorno de dos años es inferior a todos los gastos registrados en inundaciones, pero para el periodo de retorno de cinco años el gasto estimado es superior al menor gasto registrado en inundaciones y el gasto estimado para un periodo de 10 años es por muy poco, inferior al mayor gasto registrado en inundaciones.

Para la distribución Normal el gasto calculado para un periodo de retorno de dos años es de 3,845 m³/s, el cual no es suficiente para que se presente una inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, pero con los gastos estimados de los periodos de retorno de cinco o diez años, se pueden originar desbordamientos que generen inundaciones.

Tabla 3.3. Gastos calculados en m³/s para la estación hidrométrica Las Adjuntas.

Periodo de retorno (años)	Distribución Gamma 2p	Distribución Gumbel	Distribución Gumbel 2p	Distribución Log-Normal	Distribución Normal
2	3,551	3,539	3,856	3,434	3,845
5	5,258	5,188	5,878	5,214	5,415
10	6,336	6,280	7,231	6,488	6,236
20	7,330	7,327	8,362	7,771	6,914
50	8,566	8,683	9,709	9,519	7,677
100	9,463	9,699	10,706	10,898	8,186
500	11,466	12,047	12,705	14,331	9,215
1000	12,305	13,056	13,202	15,921	9,611
5000	14,218	15,398	14,541	19,902	10,449
10000	15,031	16,407	14,673	21,750	10,783

En la Figura 3.7 se presentan los gastos estimados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años, pero se puede observar que entre los periodos de dos y cinco años, es cuando ocurre un crecimiento más acelerado del gasto estimado. También, con ayuda de esta gráfica se puede hacer una estimación del gasto que se puede presentar en años específicos que no fueron calculados con el programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología (Ruiz, 2002).

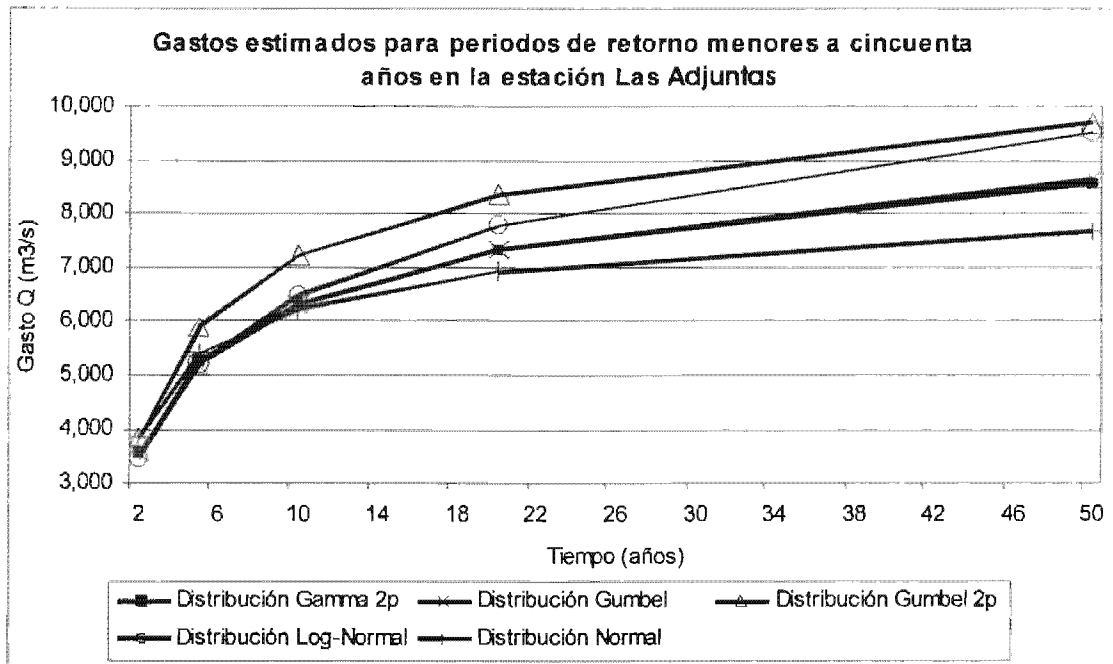


Figura 3.7. Gastos calculados en la estación Las Adjuntas, para un periodo menor a de 50 años.

Para la estación hidrométrica Pánuco, el periodo de registro con el que se estimaron los gastos para los diferentes periodos de retorno es de 1972 a 1994, en donde el gasto máximo anual se presentó en el año de 1974 con 7,300 m³/s, y el menor fue de 830 m³/s en 1982 (Figura 3.8). Hay que recordar que en el año 1955 en esta estación se calcularon 10,800 m³/s, y por no ser un dato con el mismo origen que el resto de los demás, no fue considerado para el análisis estadístico.

El gasto medio anual estimado para la estación hidrométrica Pánuco es de 3,225 m³/s y la desviación estándar es de 1,359 m³/s. En la Tabla 3.4, se observan los gastos estimados para diez periodos de retorno con las cinco distribuciones.

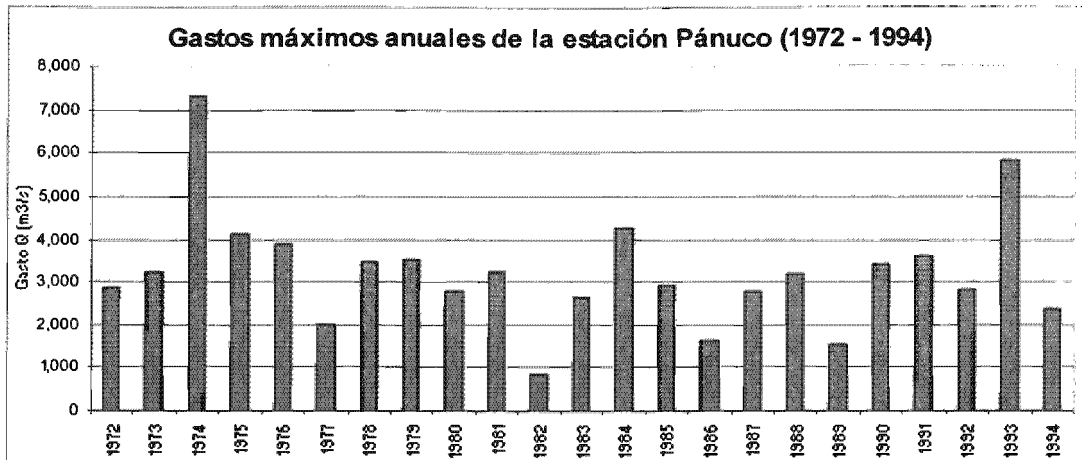


Figura 3.8. Gastos máximos anuales de la estación Pánuco del río con el mismo nombre (CNA e IMTA, 1997).

Para la distribución Gamma de dos parámetros, se estimó un gasto de $3,039 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de dos años (Tabla 3.4), el cual es inferior a los gastos registrados en los años con inundaciones, en cambio, el gasto calculado de $4,276 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de cinco años, es superior a tres de los cinco gastos registrados en inundaciones, pero para que se repita el gasto de $7,300 \text{ m}^3/\text{s}$ registrado en el año 1974, deben pasar más de cien años.

Según los cálculos realizados por el programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología (Ruiz, 2002) la mejor distribución fue la de Gumbel, en la que el gasto estimado para un periodo de retorno de dos años es de $3,002 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabla 3.4), el cual no presenta algún riesgo por ser inferior al gasto mínimo registrado en las inundaciones, y para el periodo de retorno de cinco años es de $4,205 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual indica que por lo menos una vez cada cinco años se puede presentar una inundación. Para los gastos estimados en periodos de retorno superiores a los cien años son mayores a los gastos registrados, por lo que no se puede tener una certeza amplia.

Al igual que las demás distribuciones, el gasto estimado con la distribución Gumbel de dos poblaciones para un periodo de retorno de dos años, no produciría alguna inundación, pero para el periodo de retorno de cinco años sí. El mayor gasto registrado en la estación ($7,300 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año 1974) tendría un periodo de retorno entre 20 y 50 años (Tabla 3.4). Según esta distribución la población ciclónica es de cinco años y la no ciclónica es de 18 años, lo cual quiere decir que

de los 23 años de registro, cinco gastos máximos anuales fueron originados por ciclones.

La distribución Log-Normal presenta características similares a la distribución Gumbel de dos poblaciones (Tabla 3.4), ya que el gasto estimado para un periodo de retorno de dos años es menor a los gastos registrados en inundaciones, pero para el periodo de retorno de cinco años, el gasto estimado de 4,304 m³/s es superior a tres gastos registrados en inundaciones, lo que indica que por lo menos una vez cada cinco años puede ocurrir una inundación.

La distribución Normal presenta las mismas características que las demás distribuciones para los periodos de retorno de dos y cinco años, pero el gasto estimado de 7,141 m³/s para un periodo de 500 años (Tabla 3.4), indica que para que se repita el máximo gasto registrado de 7,300 m³/s tiene que pasar más de ese periodo de retorno.

Tabla 3.4. Gastos estimados en m³/s para la estación hidrométrica Pánuco.

Periodo de retorno (años)	Distribución Gamma 2p	Distribución Gumbel	Distribución Gumbel 2p	Distribución Log-Normal	Distribución Normal
2	3,039	3,002	3,195	2,957	3,226
5	4,276	4,205	4,644	4,304	4,370
10	5,040	5,001	5,730	5,238	4,969
20	5,735	5,764	6,647	6,159	5,463
50	6,591	6,753	7,703	7,392	6,020
100	7,206	7,493	8,551	8,348	6,390
500	8,566	9,205	10,174	10,677	7,141
1000	9,131	9,941	10,580	11,736	7,429
5000	10,410	11,648	11,658	14,343	8,041
10000	10,950	12,384	11,766	15,534	8,284

Con el fin de detallar los gastos estimados para periodos de retorno menores a 50 años fue necesario graficarlos (Figura 3.9). El gasto mínimo registrado en una inundación (3,471 m³/s en el año 1978) puede volver a presentarse en un periodo de tres años con los cálculos realizados por la distribución Gumbel de dos poblaciones, para el resto de las distribuciones estadísticas, ese gasto puede presentarse cada cuatro años (Figura 3.9), en cambio para el gasto máximo registrado en inundaciones (7,300 m³/s en el año 1974) sólo con dos

distribuciones se presenta en un periodo menor a 50 años, para Gumbel de dos poblaciones el periodo de retorno 38 años y para Log-Normal es de 48 años.

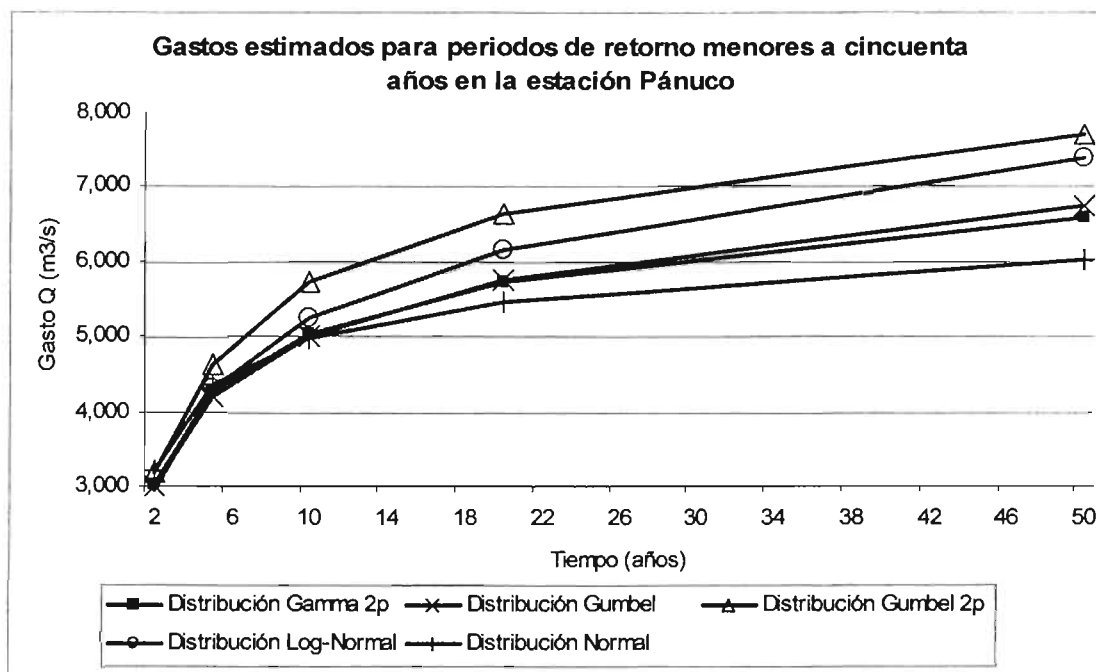


Figura 3.9. Gastos calculados en la estación hidrométrica Pánuco, para un periodo de retorno menor a 50 años.

3.5.1. Conclusiones de este subcapítulo

Los gastos calculados con todas las distribuciones para los periodos de retorno de dos años, en las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco, no son suficientes para originar una inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, por ser gastos inferiores a los que se han registrado en las inundaciones.

Con los gastos estimados para los periodos de retorno de cinco años, se pueden presentar inundaciones en el curso bajo del río Pánuco, ya que todos los gastos estimados son superiores al menor gasto registrado en inundaciones. Lo que indica que por lo menos cada cinco años va a existir una inundación.

Según los cálculos realizados por el programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología (Ruiz, 2002), la mejor distribución para el análisis de los gastos estimados para diferentes periodos de retorno de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco, fue el método de Gumbel.

3.6. Influencia de la cuenca del río Tempoal

Una de las hipótesis del presente estudio establece que de las tres cuencas hidrológicas que tienen influencia en las inundaciones que ocurren en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, la cuenca del río Tempoal es la que más influye, a pesar de tener la menor extensión de las tres cuencas. Esta hipótesis surgió a partir de la observación simple de los gastos máximos anuales. Las tres cuencas de las que se hace referencia son la cuenca del río Tampoán con una extensión de 303,053 km², que concentra los escurrimientos del Oeste de la Región Hidrológica 26 (RH 26); otra cuenca es la del río Moctezuma con una extensión de 280,147 km², esta cuenca capta los escurrimientos de todo el Sur de la RH 26, desde la ciudad de México; la tercera cuenca es la del río Tempoal con 58,595 km², la cual pertenece a la cuenca del río Moctezuma, pero para fines del presente trabajo ha sido considerada como un sistema separado. En la Figura 3.10, se observan las principales cuencas de la RH 26, en tonos verdes se distinguen las subcuencas que conforman la cuenca de río Moctezuma, en tonos

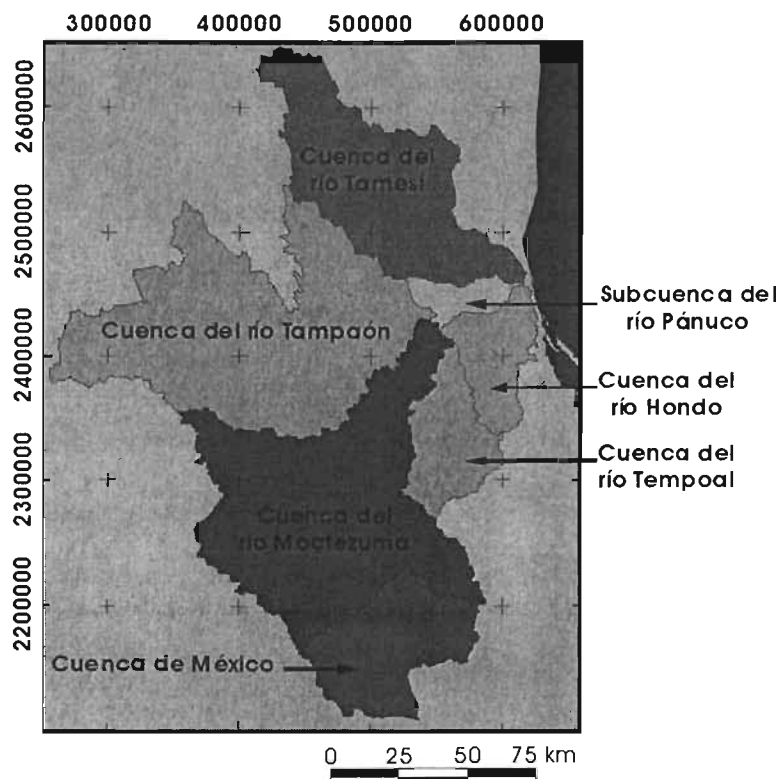


Figura 3.10. Principales cuencas de Región Hidrológica 26.

anaranjados se observan las subcuencas de los ríos Hondo y Pánuco, las cuales forman la cuenca del Pánuco, la cuenca del Oeste es la del río Tambaón y la del Norte es la cuenca del río Tamesi. Asimismo, en la Figura 3.10, se puede observar la diferencia del tamaño entre las cuencas Tambaón y Tempoal.

De las tres cuencas que más influyen en las inundaciones que ocurren en el curso bajo del río Pánuco, sólo se hace una comparación de las cuencas de Tambaón y Tempoal, ya que el río de la cuenca Moctezuma no cuenta con registros hidrométricos, y también porque está muy controlado por diversas obras hidráulicas.

En la cuenca de Tempoal existen cuatro estaciones hidrométricas, de las cuales la estación Tempoal es la que registra casi el total de los escurrimientos y se localiza en el poblado con el mismo nombre. En la cuenca de Tambaón, la estación hidrométrica El Pujal es la que registra prácticamente el total de todos los escurrimientos. La estación El Pujal se localiza aproximadamente a 107 km, río arriba, de la confluencia con el río Moctezuma.

De los 41 años de registro de la estación hidrométrica de El Pujal, sólo cuatro años no se pueden comparar con los gastos de la estación Tempoal por la falta del registro, pero de los gastos registrados en ambas estaciones, 19 años el gasto de la estación Tempoal fue mayor que la de El Pujal, y en 18 años sucede lo contrario. Al observar los gastos registrados durante los once años de importantes crecidas en el curso bajo del río Pánuco en la Figura 3.11, es claro que existen otros factores que influyen en la generación de estos gastos, de los cuales la extensión de las cuencas puede ser uno, ya que la cuenca de Tempoal es cinco veces menor.

De los once años en que se presentaron las máximas crecidas en el curso bajo del río Pánuco, el gasto registrado en la estación hidrométrica Tempoal es superior en cinco años (1956, 1958, 1974, 1975 y 1978). En el año 1955, se registraron los gastos máximos históricos de las dos estaciones, los cuales fueron superiores a los $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$, pero con una diferencia de $52 \text{ m}^3/\text{s}$ entre una y otra estación.

Para entender un poco más sobre los factores que influyen para que los gastos registrados en la estación hidrométrica Tempoal sean tan elevados, a continuación

se analizan sus características físicas y los tiempos de respuesta hidrológica en cada uno de los once años antes mencionados.

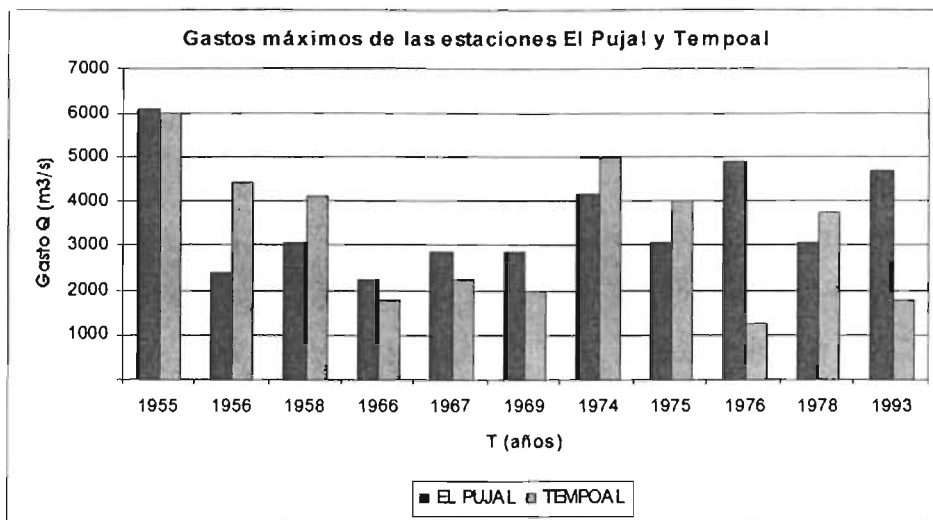


Figura 3.11. Gastos máximos anuales de las estaciones El Pujal y Tempoal, registrados en los once años de importantes crecidas en el río Pánuco (CNA e IMTA, 1997).

La cuenca del río Tempoal se localiza al sur de la cuenca del río Pánuco (Figura 3.12), entre las coordenadas geográficas extremas 21°47'27"-20°30'43" de Latitud Norte y 98°01'02"-98°45'41" de Longitud Oeste (en coordenadas UTM en metros son 524,835–602,037 y 2,268,103–2,409,664, de la zona 14).

La cuenca del río Tempoal pertenece a la cuenca del río Moctezuma, pero cuenta con un comportamiento hidrológico totalmente distinto, tanto por factores físicos como su topografía, su geología, sus climas, su edafología y el uso de suelo (INEGI 1979-1985). Se encuentra dividida por cuatro subcuencas (Figura 3.13), la subcuenca Terrerillos es la más extensa con 21,429 km², limita al Sur con la Región Hidrológica 27, nombrada Norte de Veracruz, y al Sureste con la cuenca del río Meztitlán. La subcuenca Los Hules es la segunda más extensa con 15,121 km², limita al Sur y al Este con la subcuenca Terrerillos, al Norte con la subcuenca Tempoal y al Oeste con la cuenca del río Moctezuma. La subcuenca Cardón es la más pequeña de las cuatro, con 7,153 km², se localiza al Este de la cuenca del río Tempoal. Por último, la subcuenca del río Tempoal, cuenta con un área de 14,951 km² y se localiza al Norte de la cuenca del río Tempoal.

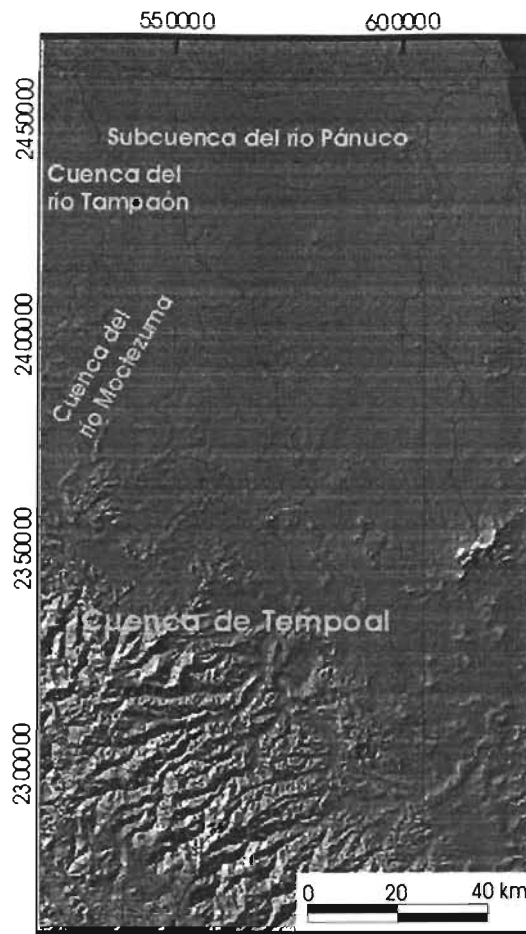


Figura 3.12. Localización de la cuenca Temporal en el área completa de estudio.

Los climas que se presentan en la cuenca del río Temporal indican los regímenes de lluvia, que se refieren a la distribución de las lluvias a lo largo del año. Los tipos de clima son seis (Figura 3.14), de Norte a Sur, el Aw1, se define como un clima cálido subhúmedo con régimen pluvial en verano, una temperatura media anual entre 22° y 26°C, y un coeficiente de precipitación-temperatura entre 43.2 y 55.3; el Aw2 es igual al anterior, sólo que el coeficiente es mayor a 55.3; el Am es cálido húmedo con lluvias en verano y una temperatura media anual entre 22° y 26°C; el Am(f) es igual al anterior, pero con el régimen pluvial intermedio; el A(c)f es semicálido húmedo con régimen pluvial intermedio y una temperatura media anual entre 18° y 22°C; y por último, el Cf que se define como templado subhúmedo con régimen pluvial intermedio y una temperatura media anual entre 12° y 18°C. Los tres climas que se encuentran al Norte de la cuenca del río Temporal cuentan con

un régimen pluvial en verano, en cambio los otros tres tienen un régimen pluvial intermedio, lo cual indica que la precipitación se distribuye en todo el año, ya que de todo lo que llueve anualmente, del 10 al 18% se registra en invierno debido a los "Nortes".

Con el fin de simplificar el relieve de la cuenca del río Tempoal, en el mapa altimétrico (Figura 3.15) se pueden observar nueve rangos altimétricos, ocho de los cuales representan una pequeña parte de la Sierra Madre Oriental. La topografía de la cuenca, se relaciona con la precipitación, ya que en la sierra, que se encuentra al Suroeste de la cuenca, es en donde se presentan las precipitaciones más intensas de toda el área, esto se debe a que la sierra es una barrera natural para los vientos cargados de humedad, que provienen del Golfo de México, los cuales al elevarse para evadir la sierra, condensan su humedad y la precipita en toda esta área.

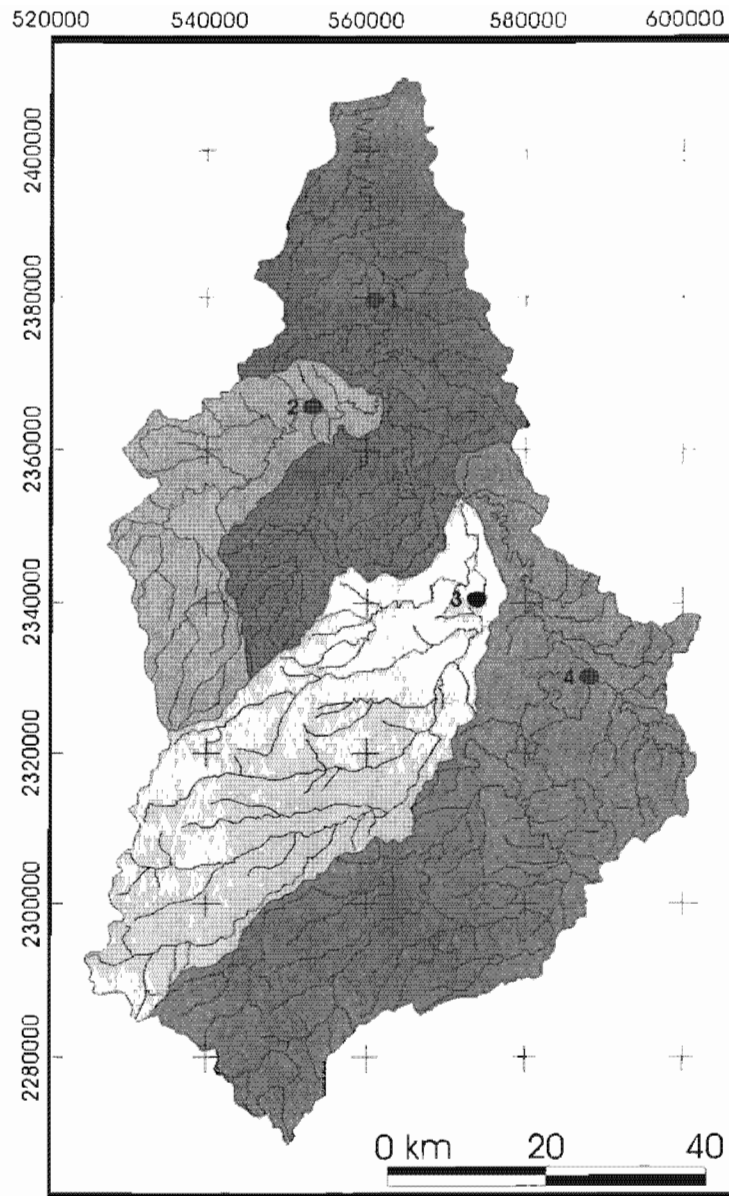
Cada rango altimétrico de la Figura 3.15 es de 307 m, y entre más angostos sean estos rangos en el mapa, indica que existe una pendiente mayor. En la Figura 3.16, se observan seis intervalos de pendiente de la cuenca del río Tempoal, el intervalo de 0° a 2° se presenta en la parte baja de la cuenca del río Tempoal, los rangos de 8° a 16°, 16° a 35° y el de mayor a los 35° se concentran al Suroeste de la cuenca del río Tempoal, esto indica que las corrientes que existen en esta área tienen una mayor velocidad de respuesta hidrológica, ya que la velocidad del agua del cauce es proporcional a la pendiente del cauce. Estas diferencias en la pendiente de la cuenca del río Tempoal se simplifican al observar la Figura 3.17, en la que se observa el perfil longitudinal de su cauce principal (río Tempoal). Para definir el cauce principal existen algunos criterios, como el que tiene que ser un cauce que a lo largo de su recorrido concentre todos los escurrimientos de la cuenca, y que sea, a su vez, del mayor orden de corriente que existe en la cuenca. En la Figura 3.18, se observa el orden de corrientes de la cuenca del río Tempoal, y el cauce principal es aquel que nace de primer orden en el extremo Sur de la subcuenca Terrerillos, después aumenta hasta el cuarto orden, en el que se mantiene hasta la salida de la cuenca del río Tempoal.

Las unidades litológicas de la cuenca del río Tempoal son otro de los aspectos que influyen en la respuesta hidrológica de la cuenca. En la Figura 3.19, se observan las 16 unidades litológicas que conforman la cuenca del río Tempoal, tres de las cuales son rocas ígneas, una es de depósitos aluviales y el resto es de rocas sedimentarias. Los depósitos aluviales del Cuaternario se concentran en la parte baja de la cuenca, en cambio, en la parte alta de la cuenca, al Suroeste, predominan las rocas sedimentarias más antiguas.

Otra de las características de la cuenca del río Tempoal, que se tiene que tomar en cuenta para el análisis de la respuesta hidrológica, son los diferentes tipos de suelos, ya que cada uno de los grupos de suelos que existen en la cuenca influyen de diferente forma en la respuesta hidrológica. En la Figura 3.20, se observan los ocho tipos de suelos que conforman la cuenca del río Tempoal.

La vegetación y uso de suelo (Figura 3.21) son una de las características más importantes para el estudio de respuesta hidrológica, ya que la vegetación tiene la capacidad de retener la humedad, en cambio, en lugares donde la vegetación ha sido altamente modificada, la respuesta hidrológica también se ve alterada. En este caso, sólo se tomó en consideración el mapa de Uso de suelo y vegetación del año 1984 por ser el más próximo a los años en que se presentaron el mayor número de inundaciones.

Por último, el coeficiente de escurrimiento de la cuenca del río Tempoal (Figura 3.22) muestra en áreas amarillas el menor porcentaje de agua precipitada que escurre superficialmente, corresponde principalmente con áreas de menor pendiente en toda la cuenca, también coincide con áreas donde se localizan los depósitos aluviales del Cuaternario, el grupo de suelo Vertisol y con la mayoría de las áreas de pastizal cultivado. Las áreas con un coeficiente del 10 al 20%, se encuentran dispersas en la cuenca, en algunas áreas se relacionan con los depósitos aluviales del Cuaternario, con los suelos Feozem, con el pastizal inducido y con áreas de la menor pendiente, en cambio en otras áreas, esta relación no se presenta, ya que coinciden con otras unidades, como ocurre al Sureste de la cuenca. El porcentaje del 20 al 30% es el más extenso de todos,



Leyenda

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  Subcuenca del río Temporal | 1 ● Estación hidrométrica Temporal |
|  Subcuenca del río Cardón | 2 ● Estación hidrométrica Cardón |
|  Subcuenca del río Los Hules | 3 ● Estación hidrométrica Los Hules |
|  Subcuenca del río Terrerillos | 4 ● Estación hidrométrica Terrerillos |

Figura 3.13. Principales subcuencas y estaciones hidrométricas de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1983a; INEGI, 1983c).

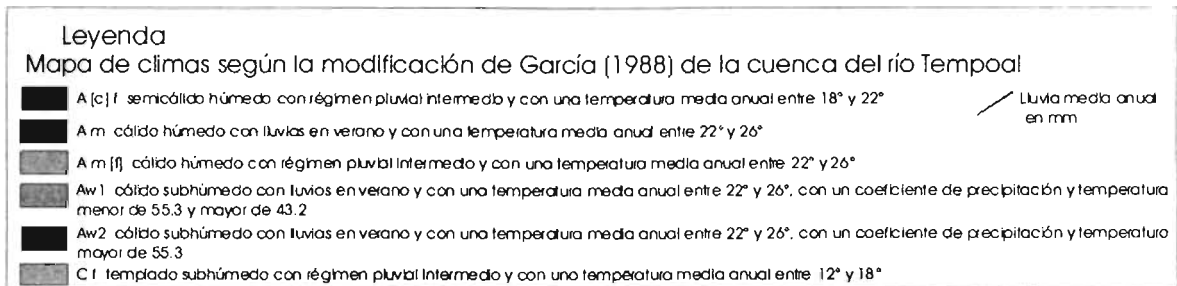
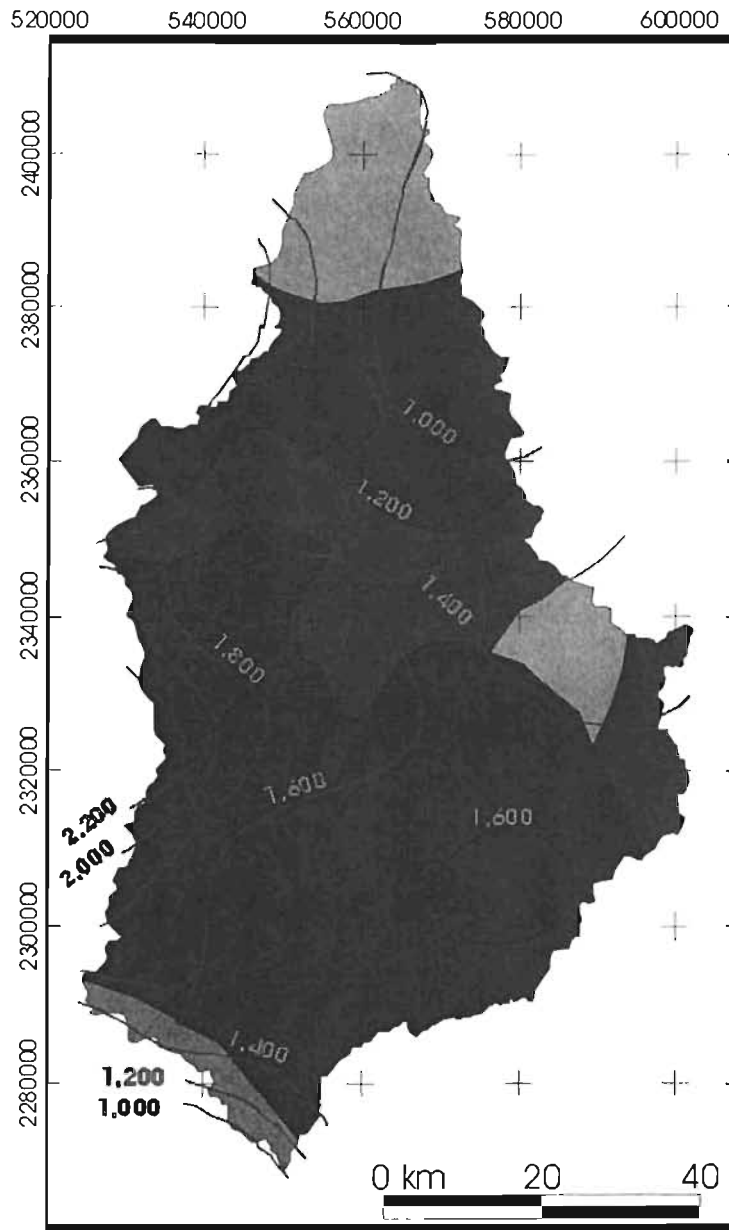


Figura 3.14. Mapa de climas de la cuenca del río Temporal (García, 1988).

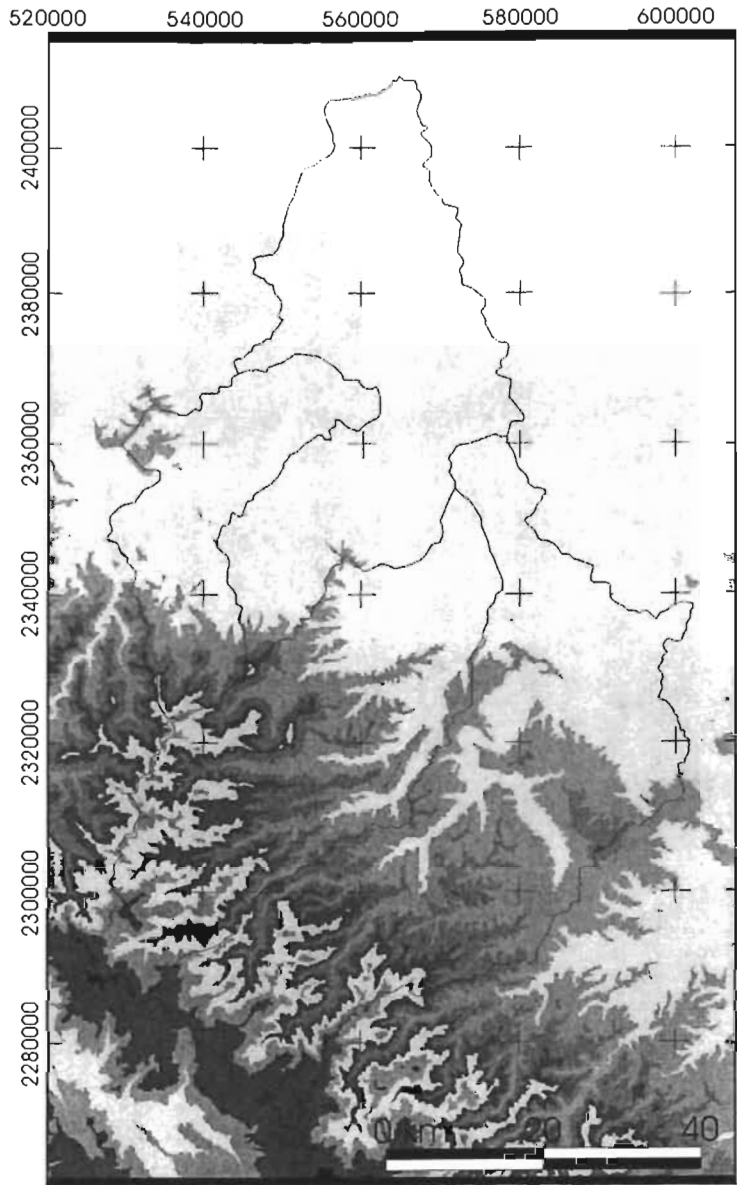


Figura 3.15. Mapa altimétrico de la cuenca del río Temporal.

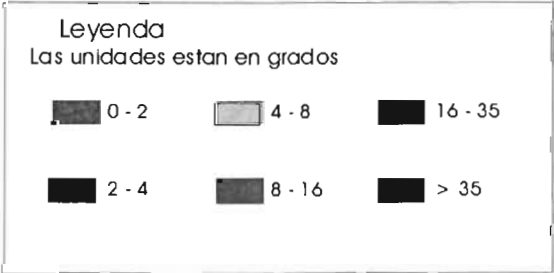
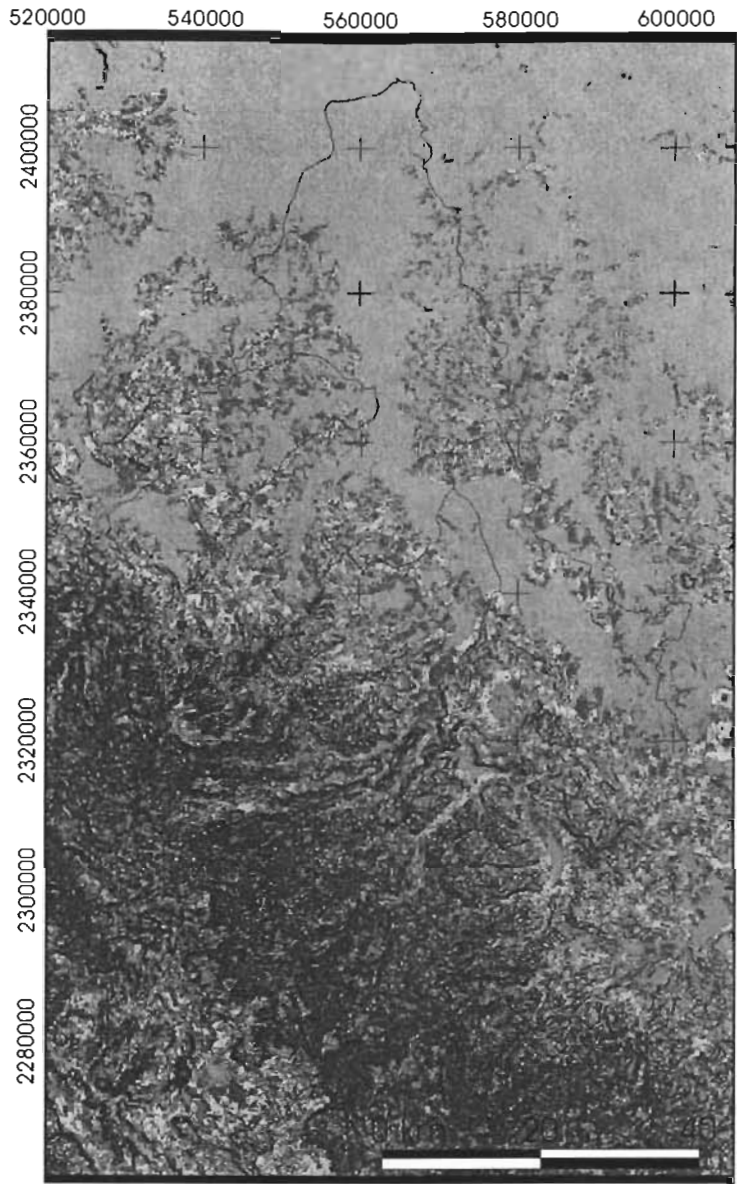
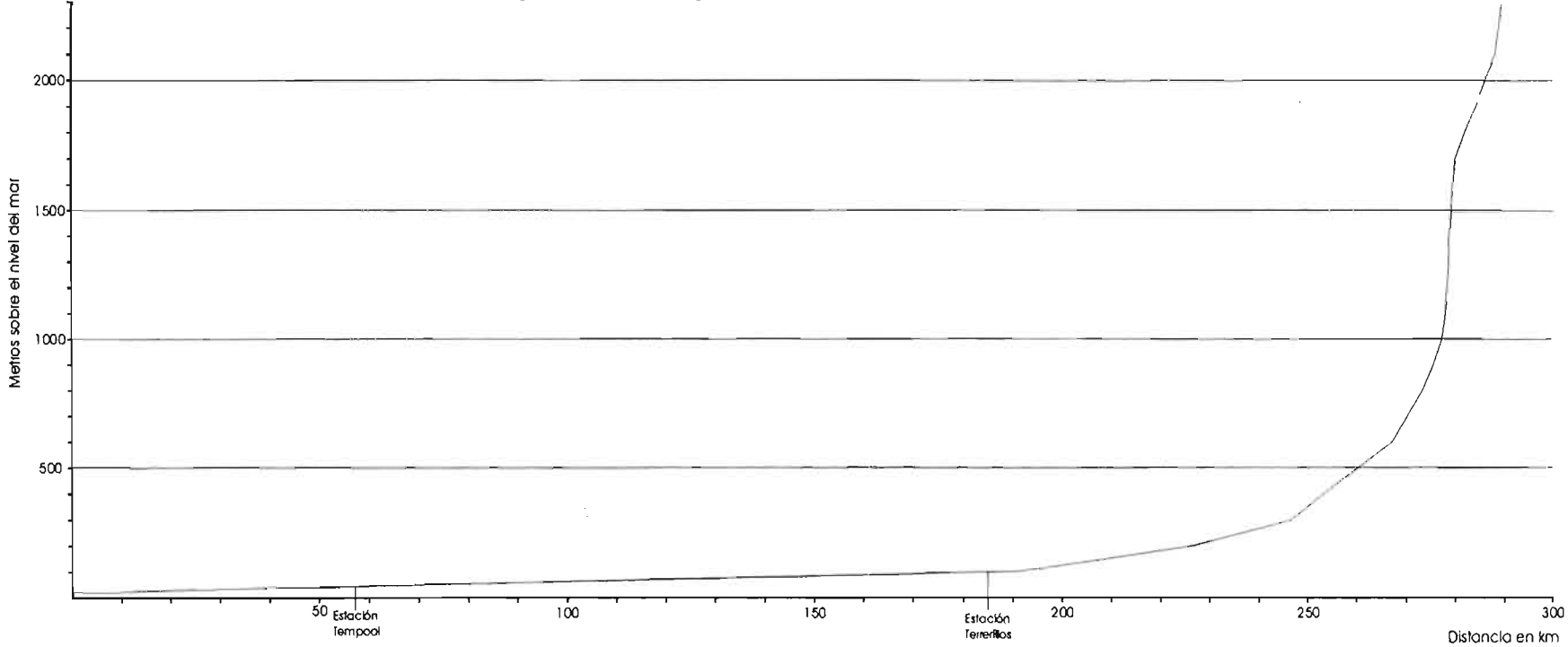


Figura 3.16. Mapa de pendientes de la cuenca del río Temporal.

Figura 3.17. Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca del río Temporal



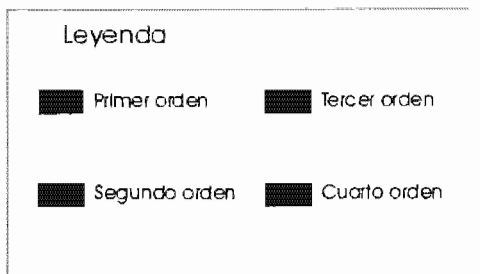
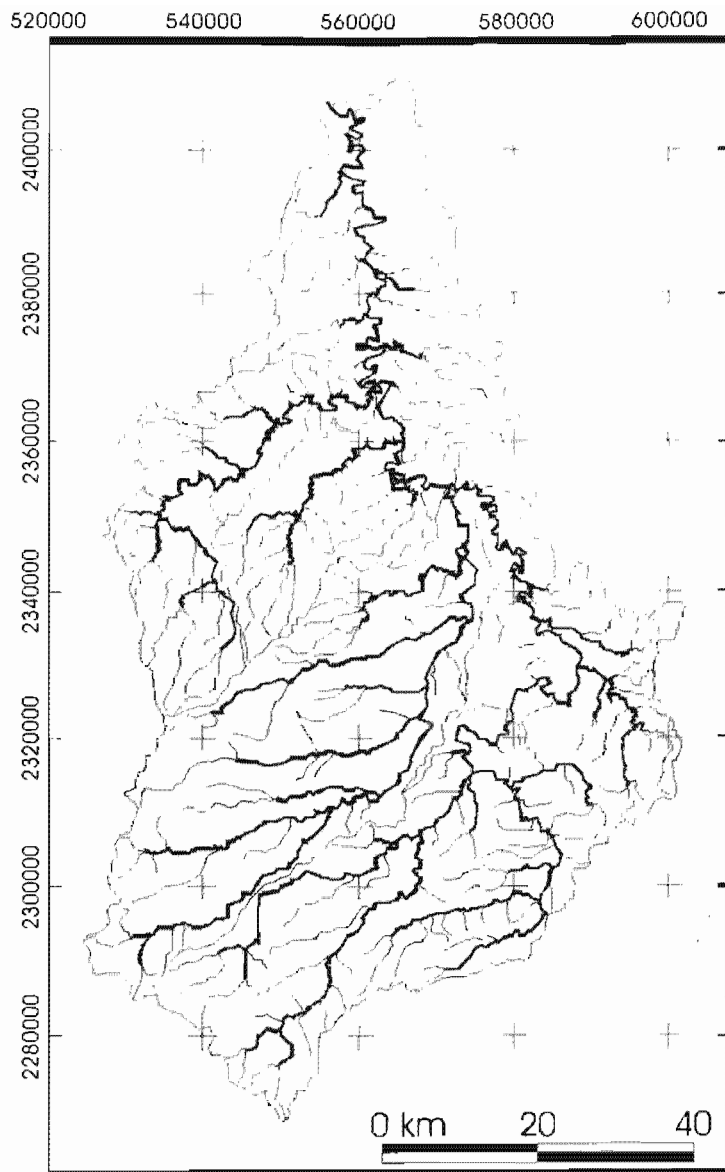


Figura 3.18. Mapa de órdenes de las corrientes de la cuenca del río Temporal.

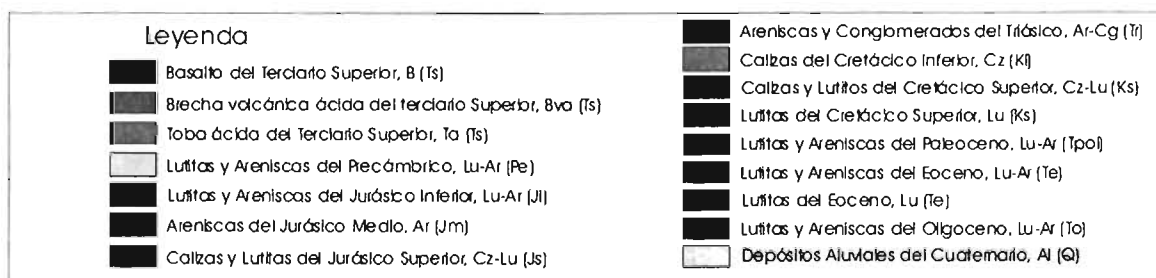
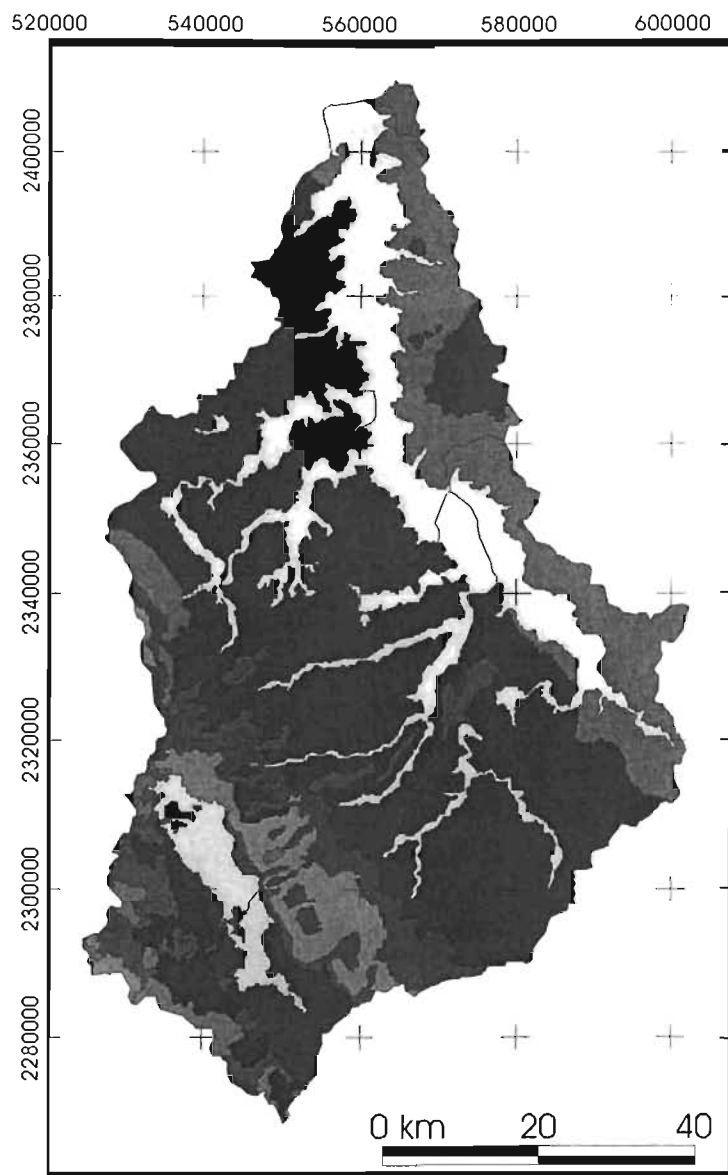


Figura 3.19. Mapa de unidades litológicas de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1983a; INEGI, 1983c).

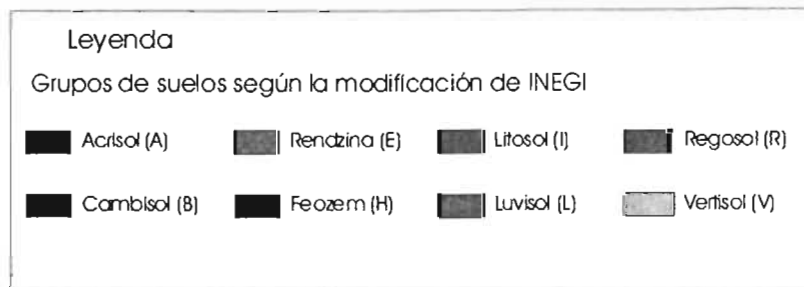
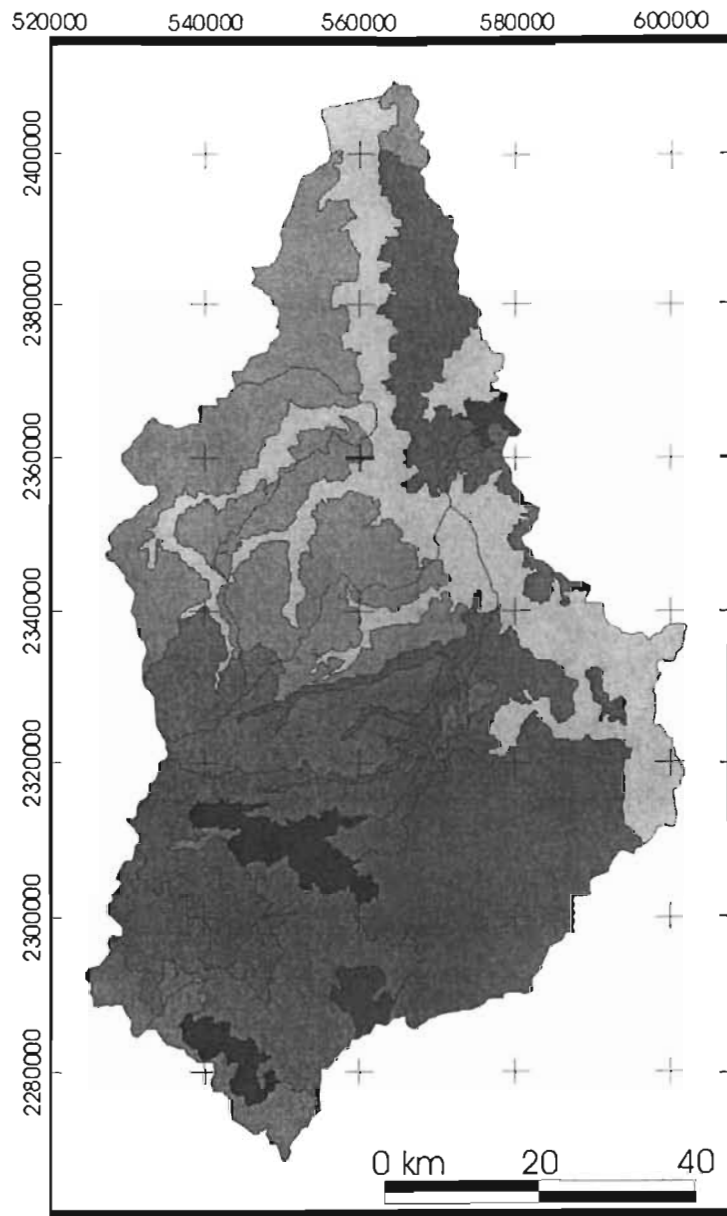


Figura 3.20. Mapa de suelos de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1983a; INEGI, 1983c).

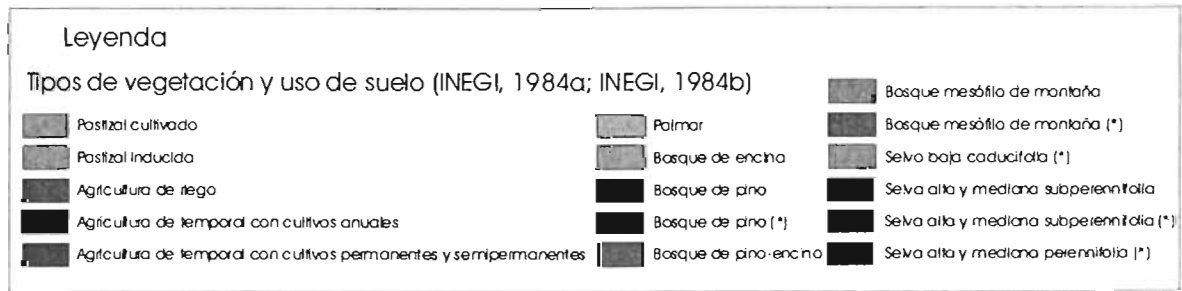
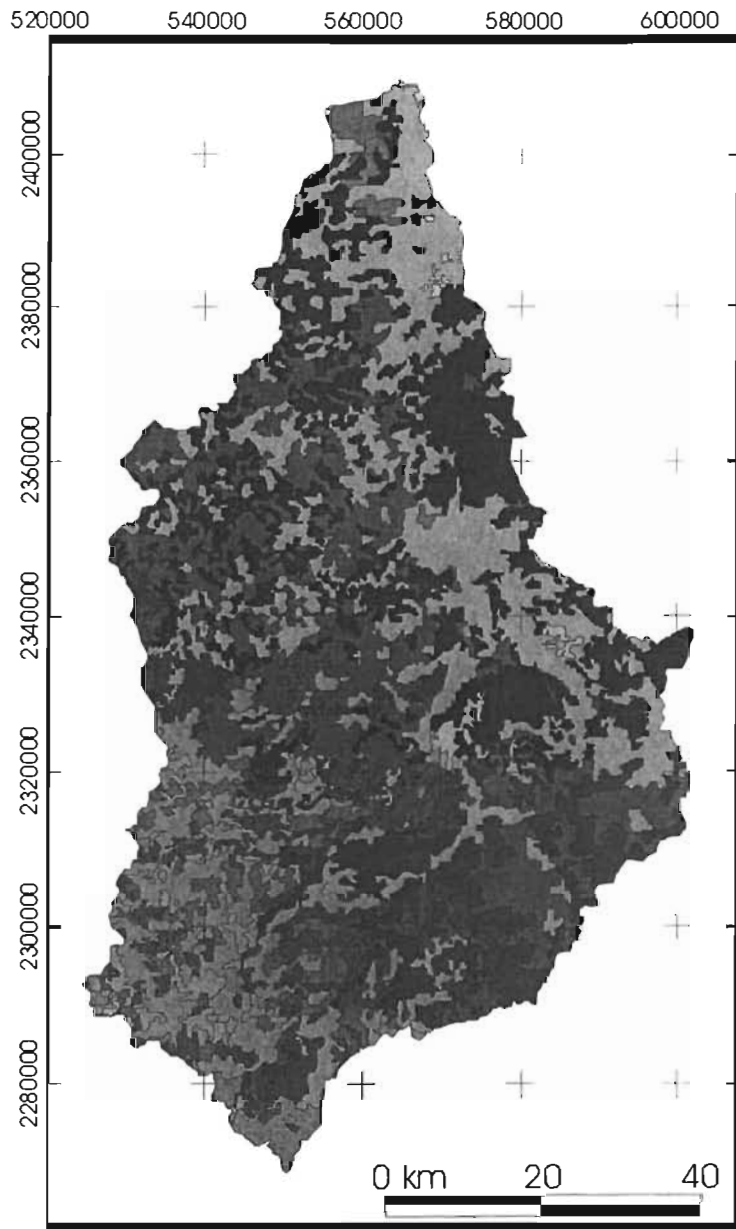


Figura 3.21. Mapa de vegetación y uso del suelo de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1984a; INEGI, 1984b).

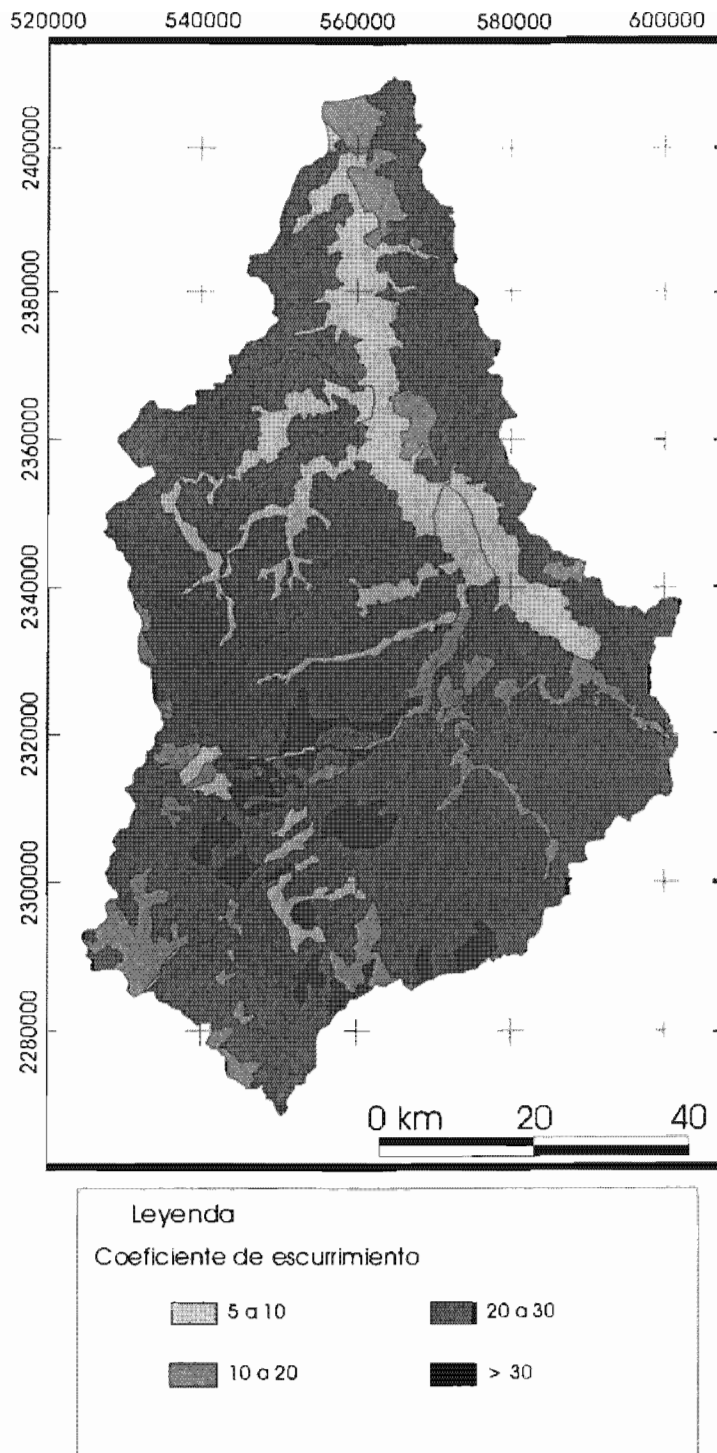
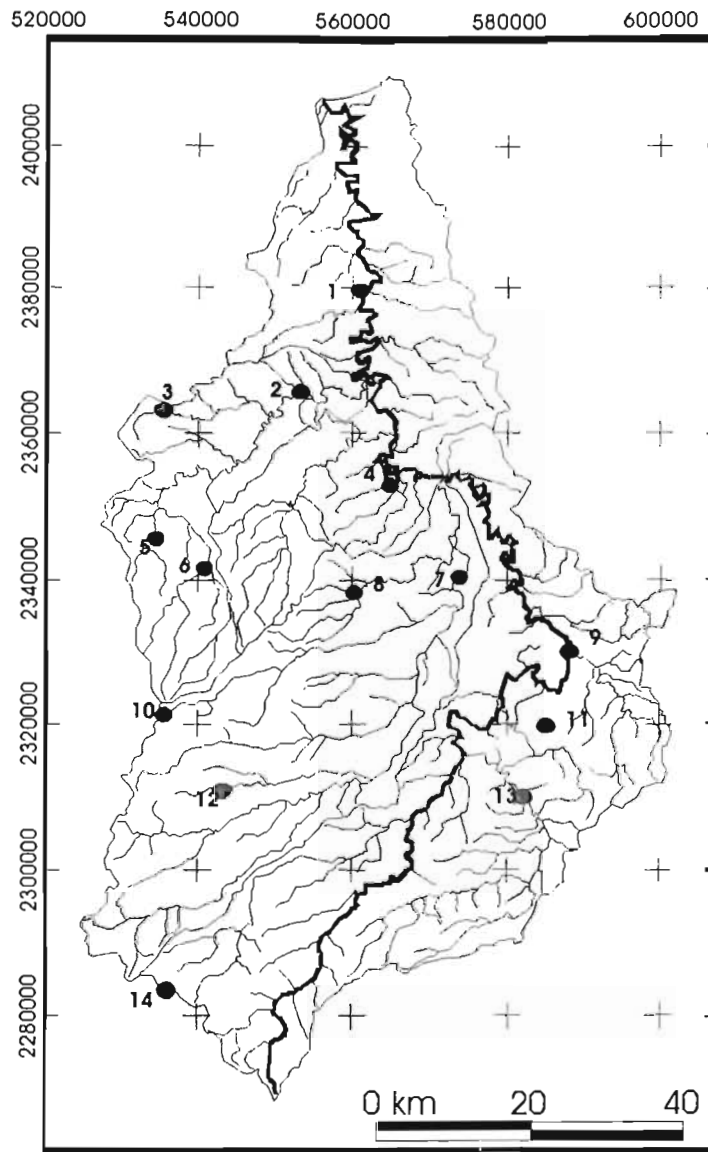


Figura 3.22. Mapa del coeficiente de escurrimiento de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1983a; INEGI, 1983c).



Legenda

Estaciones Climatológicas e hidrométricas

● Estación hidrométrica y climatológica	● Estación climatológica
---	--------------------------

1 Temporal	6 Orizatlan	11 Chicontepepec
2 Cardón	7 Los Hules	12 Canali
3 Chatchicuautla	8 Huejutla	13 Benito Juárez
4 Platón Sánchez	9 Terrellos	14 Zacatlipan
5 Chapulhuacanillo	10 Tlachinol	

Figura 3.23. Mapa de las estaciones hidrométricas y climatológicas de la cuenca del río Temporal (INEGI, 1983a; INEGI, 1983c).

abarca un 72% del área total de la cuenca, en cambio el porcentaje mayor al 30% es el menos extenso de todos, abarca apenas un 4% del área total de la cuenca Tempoal, y sólo se puede decir que se relaciona con el área de mayor pendiente. Todas estas características de la cuenca del río Tempoal influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca. A continuación, se hace un análisis hidrológico de cada uno de los once eventos en que se presentaron los máximos gastos, con el fin de ver la influencia que ha tenido la cuenca del río Tempoal en las inundaciones que ocurrieron en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco. En la Figura 3.23, se observa la localización de las estaciones hidrométricas y climatológicas que se tomaron en cuenta para el análisis hidrológico de la cuenca del río Tempoal.

Para la inundación de la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco del año 1955, se cuenta con pocos registros hidrológicos y climatológicos. En la Figura 3.24, se observa que la precipitación acumulada del 27 de septiembre al primero de octubre, registró valores superiores a los 650 mm en la estación climatológica Tlachinol, al Este de la subcuenca Los Hules y Suroeste de la subcuenca Cardón. Al observar las gráficas de precipitación (Figura 3.24), se puede decir que la lluvia que originó los máximos gastos en la cuenca del río Tempoal fue la de los días 28 y 29, ya que en las estaciones Tlachinol, Canali y Zacualtipan llovió 240 y 332 mm, 111 y 261 mm, 180 y 220 mm respectivamente y al compararlo con los hidrogramas generados, se pueden determinar tiempos específicos de la cuenca del río Tempoal. El tiempo que tarda en ascender el hidrograma, desde su punto de levantamiento hasta el gasto máximo registrado, es el tiempo de crecida, el cual fue de cuatro días para la estación Tempoal; el tiempo de diferencia entre los centros de gravedad de la gráfica de precipitación y el hidrograma es el tiempo de demora, el cual fue de cuatro días; el tiempo que pasa desde el comienzo de las lluvias hasta el registro del gasto máximo es el tiempo de punta, el cual fue de cinco días; el tiempo entre el centro de gravedad de la gráfica de precipitación y el gasto máximo es el tiempo de desfase de la punta, el cual fue, en este año, de tres días; el tiempo entre el punto de levantamiento y el punto final del escurrimiento directo es el tiempo base, el cual fue de nueve días; y por último, el tiempo de

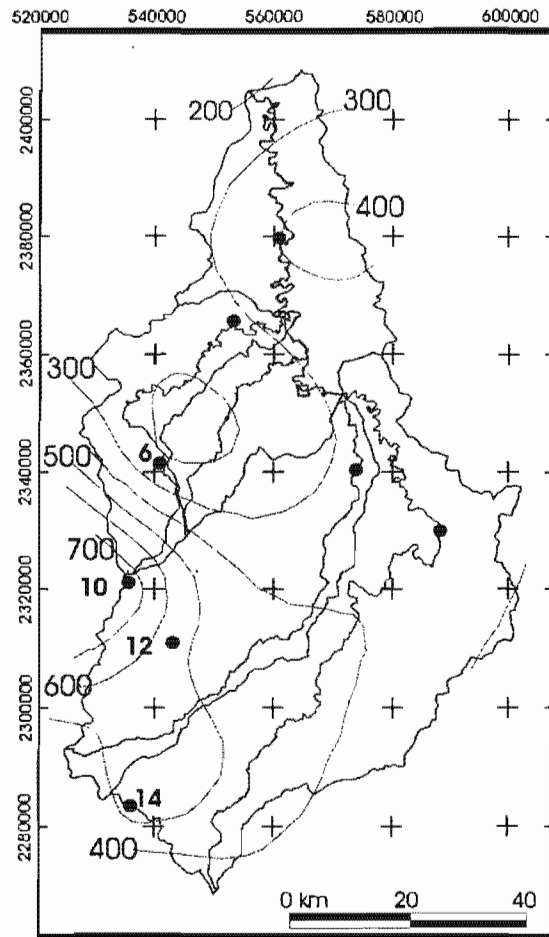
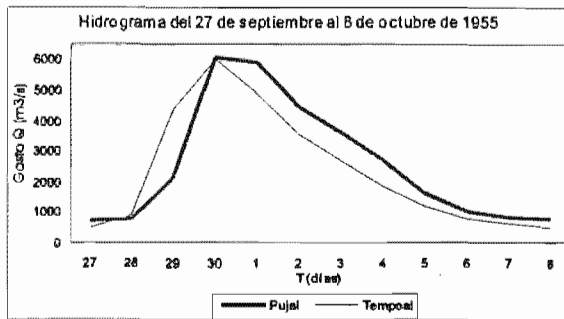
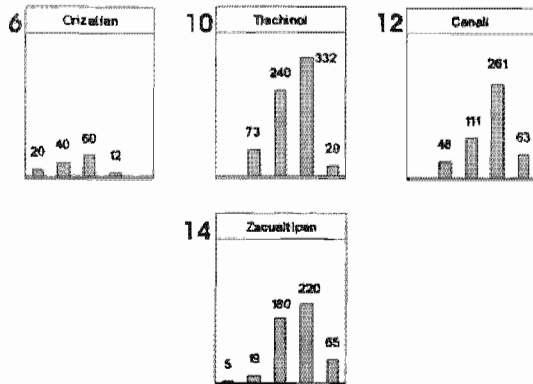
recesión o de concentración es el tiempo que se tarda en desaguar la última gota de lluvia en toda la cuenca, en este año fue de cuatro días.

Para el año 1956 también se cuenta con pocos registros hidrológicos y climatológicos, en la Figura 3.25 se observa la distribución de las estaciones climatológicas, así como la precipitación que se registró en cada una de las estaciones, de las cuales en la estación Tlachinol, al Oeste de la subcuenca Los Hules, se registraron 860 mm entre el 7 al 13 de septiembre los siete días de la gráfica. También se observa el hidrograma generado por las lluvias en la estación Tempoal, el cual es superior al registrado en la estación Pujal. Los tiempos específicos al relacionar las gráficas de precipitación con el hidrograma de Tempoal son: el tiempo de crecida fue de cinco días, el de demora de cinco días, el de punta fue de nueve días, el de desfase de la punta fue de cinco días, el de base de ocho días y el tiempo de recesión fue de tres días. Con estos tiempos se puede decir que los efectos de la lluvia se mostraron con cinco días de retraso y que el evento duró ocho días.

Cuando ocurrió la inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco del año 1958, la cuenca del río Tempoal tuvo el registro de cuatro estaciones climatológicas y una hidrométrica, en la Figura 3.26 se observa su distribución y sus registros. El día de mayor precipitación fue el 13 de octubre, ya que en las estaciones Orizatlán, Tlachinol, Canali y Zacualtipan se registraron 280, 63, 119 y 180 mm respectivamente, dando un total de 641 mm registrados al Suroeste de la cuenca, la estación Orizatlán es la que presentó la mayor cantidad de precipitación en seis días, con un registro de 640 mm. Al observar el hidrograma (Figura 3.26) registrado de la estación Tempoal y al relacionarlo con las gráficas de precipitación, se pueden decir algunos tiempos específicos, como el de crecida que fue de cinco días, el de demora de tres, el de punta de seis, el de desfase de la punta de tres, el de base de 10 y el de recesión en un día.

Para el año 1966, se contaron con más registros, ya que estaban en servicio doce estaciones climatológicas y cuatro hidrométricas en la cuenca del río Tempoal (Figura 3.27). El día 25 de junio se registró la máxima precipitación con 1,282 mm en toda la cuenca del río Tempoal, pero de las cuatro subcuencas la de Cardón, a

Gráficas de precipitación (en mm), del 26 al 30 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



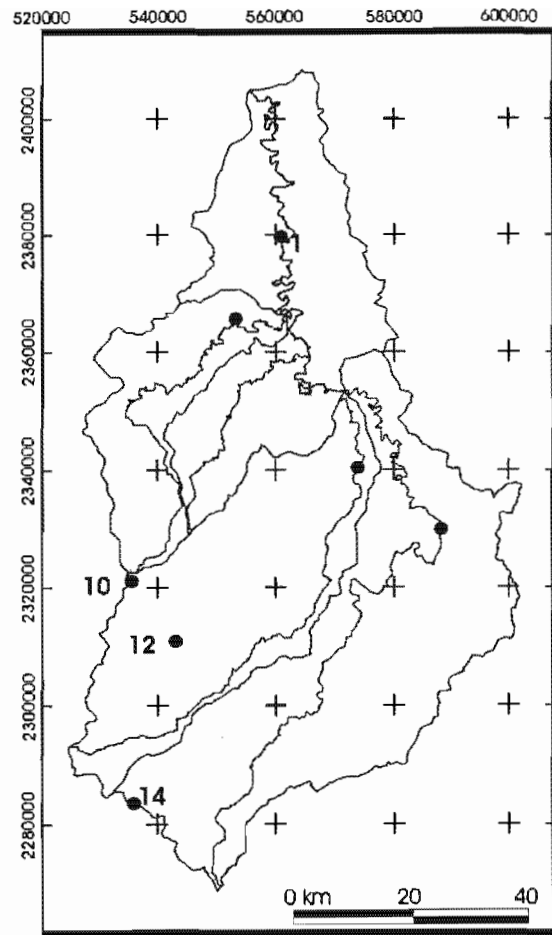
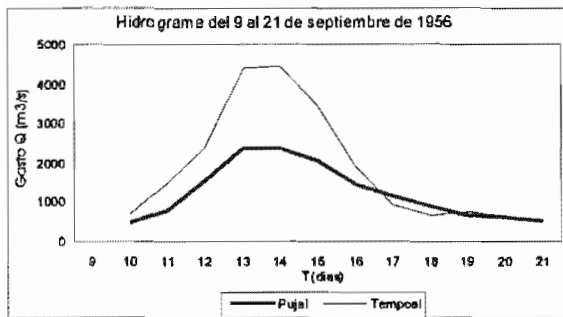
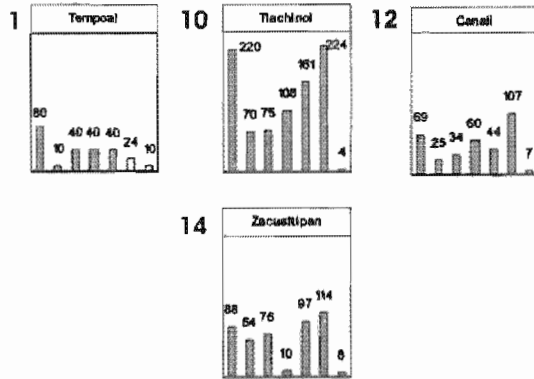
Precipitación acumulada (en mm) del 27 de septiembre al 1 de octubre de 1955

Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m3/s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	30	—	6,052	—
Tempoal	Septiembre	30	13	6,000	24.52
Pánuco	Octubre	3	12	10,800*	—

* Estimado

Figura 3.24. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de octubre de 1955.

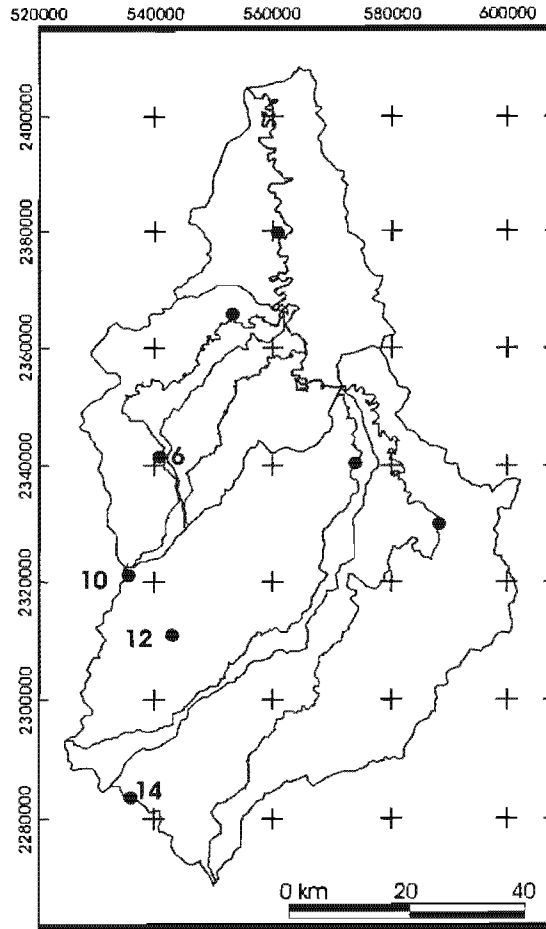
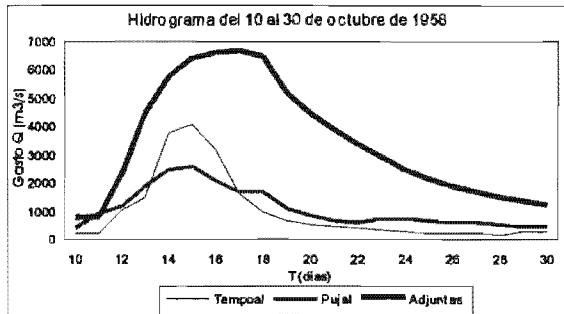
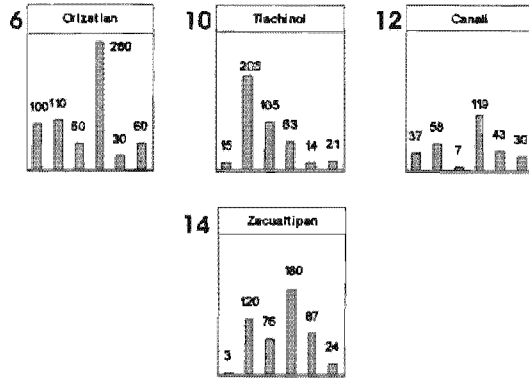
Gráficas de precipitación (en mm), del 7 al 13 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m³/s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	14	—	2,383	—
Tempoal	Septiembre	14	4	4,424	22.12
Las Adjuntas	Septiembre	15	2	6,201	17.03

Figura 3.25. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1956.

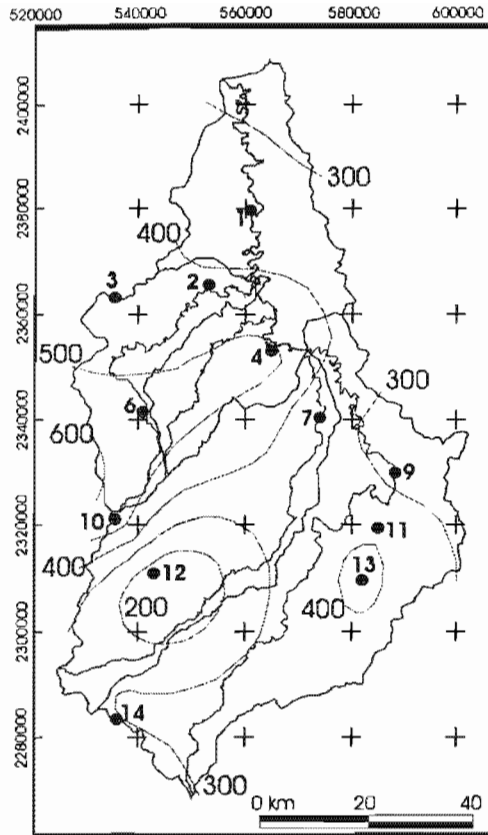
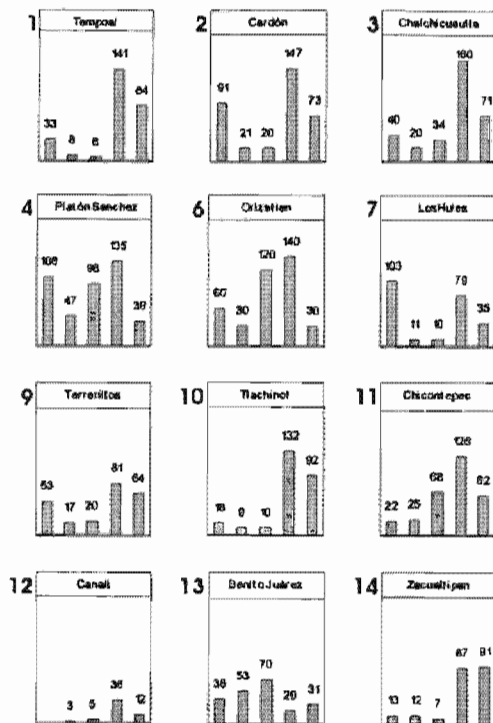
Gráficas de precipitación (en mm), del 10 al 15 de octubre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



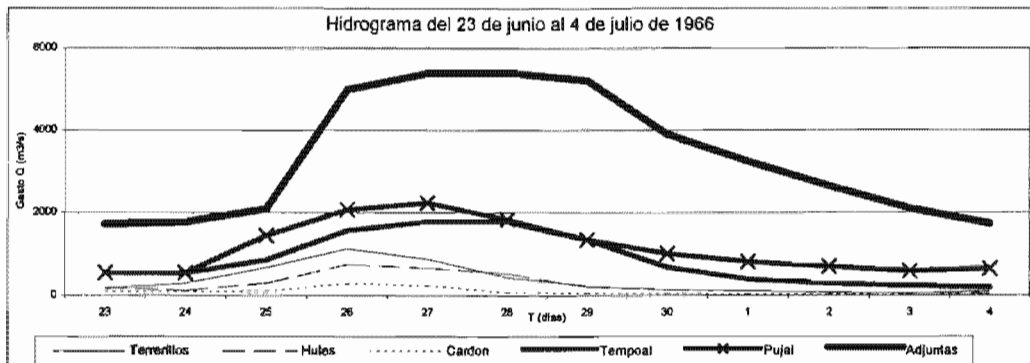
Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Octubre	15	—	2,565	—
Tempoal	Octubre	15	13	4,100	20.12
Las Adjuntas	Octubre	17	15	6,692	17.38

Figura 3.26. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de octubre de 1958.

Gráficas de precipitación (en mm), del 22 al 26 de junio (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



Precipitación acumulada (en mm) del 18 al 28 de junio de 1966



Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Junio	27	—	2,230	—
Terrerillos	Junio	26	16	1,122	4.55
Hules	Junio	26	16	742	3.98
Cardón	Junio	26	16	287	7.50
Tempoal	Junio	28	2	1,778	17.32
Las Adjuntas	Junio	28	12	5,410	16.53

Figura 3.27. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de junio de 1966.

pesar de ser la más pequeña, fue la que registró las precipitaciones más altas con 447 mm en ese día. El hidrograma de la Figura 3.27 muestra el comportamiento de los eventos en cada una de las subcuencas y su comparación con estaciones como Pujal y las Adjuntas.

Las subcuencas de Terrerillos, Hules y Cardón presentan sus máximos el día 26 de junio, mientras que en la estación Tempoal se registraron dos días después. Al analizar cada uno de sus hidrogramas y al relacionarlos con sus respectivas gráficas de precipitación (Figura 3.27), muestran diversos tiempos específicos del comportamiento del escurrimiento producido por la tormenta para cada una de las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Tempoal (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Tiempos del comportamiento de la crecida de junio de 1966.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	4	2	1	4
Días de demora	2	3	1	4
Días de punta	9	9	9	11
Días de desfase de la punta	2	2	2	4
Días de base	7	6	4	7
Días de recesión	1	2	2	3

Estos días para la estación Tempoal quieren decir, que desde el día en que se empezó a reflejar el efecto de las lluvias hasta que se registró su máximo gasto transcurrieron cuatro días, el desfase entre los centros de gravedad también fue de cuatro días, el tiempo desde que comenzó la lluvia hasta el máximo gasto fue de once días, el tiempo que pasó desde el centro de gravedad del hietograma hasta el gasto máximo fue de cuatro días, el tiempo que duró el evento fue de siete días y el tiempo que tardó en desaguar la última gota de lluvia, en toda la cuenca hasta la estación Tempoal, fue de tres días.

Para el año 1967, se contó con el registro de doce estaciones climatológicas y cuatro hidrométricas en la cuenca del río Tempoal, como lo muestra la Figura 3.28. El día que más llovió en toda la cuenca fue el 23 de septiembre, al registrarse 832 mm, de los cuales 272 mm se registraron en la subcuenca Terrerillos, esta intensa precipitación se reflejó en los hidrogramas de cada una de las subcuencas, al grado que al día siguiente se registraron los máximos en tres

de las cuatro subcuencas. La forma en como se distribuyó la precipitación, en tiempo y espacio en toda la cuenca del río Tempoal, se formaron hidrogramas de dos eventos, de los cuales el primero registró los gastos máximos anuales. Los tiempos del comportamiento del escurrimiento producidos por la tormenta para cada una de las estaciones hidrométricas se observan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1967.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	2	2	2	5
Días de demora	2	2	1	2
Días de punta	4	4	4	6
Días de desfase de la punta	2	2	2	4
Días de base	5	4	4	6
Días de recesión	4	3	3	5

El comportamiento de la cuenca del río Tempoal, en general, lo caracteriza la estación Tempoal, por ser la que concentra el escurrimiento de las otras tres subcuencas, por esto mismo se describe a continuación, considerando sólo los tiempos de esta estación. Los días que pasaron, desde el punto de levantamiento hasta el punto del gasto máximo, fueron cinco, el tiempo de desfase entre los centros de gravedad de la gráfica de precipitación y el hidrograma fue de dos días, el tiempo que pasó para que se registrara el máximo gasto, desde el inicio de las lluvias fue de seis días, el tiempo entre el centro de gravedad de la gráfica de precipitación hasta el momento del máximo caudal fue de cuatro días, el tiempo que duró la crecida fue de once días, debido a que el hidrograma se conforma de dos eventos, pero si sólo se cuenta el primer evento, que es en el que se registró el máximo caudal, entonces es de seis días, y por último, el tiempo que tardó la última gota de lluvia, que cayó en toda la cuenca, en drenar hasta la estación hidrométrica Tempoal fue de cinco días.

Para el año 1969, la cuenca del río Tempoal contó con el registro de doce estaciones climatológicas y cuatro hidrométricas. En la Figura 3.29, se observa que las estaciones localizadas al Oeste y Suroeste de la cuenca registraron los valores más altos en siete días, en cambio en la estación Terrerillos, apenas se registraron 11 mm en el mismo periodo. El día de mayor precipitación en toda la

cuenca del río Tempoal fue el 6 de septiembre con un total de 1,070 mm, de los cuales en la subcuenca Los Hules se registraron 418 mm. El comportamiento de las crecidas que se presentaron en cada una de las subcuencas, se observa en el hidrograma de la Figura 3.29, entre las que la estación Terrerillos registró el gasto máximo de toda la subcuenca. En la Tabla 3.7, se observan los tiempos específicos del comportamiento del escurrimiento producido por las intensas precipitaciones que se registraron desde finales de agosto hasta mediados de septiembre en cada una de las estaciones climatológicas de la cuenca del río Tempoal.

Tabla 3.7. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1969.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	3	3	3	3
Días de demora	3	2	2	3
Días de punta	5	4	4	5
Días de desfase de la punta	2	2	2	3
Días de base	6	6	6	10

Las estaciones de Terrerillos, Los Hules y Cardón presentaron un comportamiento muy similar (Tabla 3.7), ya que los días de crecida y los días que duró el evento son los mismos en las tres estaciones, con la única diferencia, que el gasto en la subcuenca Terrerillos fue mucho mayor que en las otras dos. En la estación Tempoal la crecida también fue de tres días y todo el evento duró diez días. En este año no fue posible determinar el tiempo de recesión, debido a que las precipitaciones continuaron hasta días después del final del escurrimiento directo. En el año 1974, se contaron con registros de trece estaciones climatológicas y de cuatro estaciones hidrométricas en la cuenca del río Tempoal. En la Figura 3.30, se observa el hidrograma registrado en los días que se presentó la inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco de este año. En la misma figura, se observa que la distribución de la precipitación es muy elevada al Oeste y Suroeste de la cuenca del río Tempoal, la cual se concentró entre los días 20 y 24 de septiembre, como lo muestran las gráficas de precipitación. En este año, se presentaron tres días con registros de precipitación superiores a los 1,400 mm, de

los cuales el día 21 fue en el que se presentó el máximo de precipitación acumulada de 1,872 mm. Estas intensas precipitaciones originaron elevados gastos en cada una de las cuatro subcuencas, en la Tabla 3.8 se observa que el tiempo de crecida en tres subcuencas fue de dos días para el primer evento, pero como en dos de ellas, el gasto máximo se registró hasta el segundo pico de los hidrogramas, ese tiempo puede ser considerado de cuatro días.

Tabla 3.8. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1974.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	4	2	4	5
Días de demora	2	2	2	4
Días de punta	4	2	5	6
Días de desfase de la punta	3	1	3	4
Días de base	6	5	6	10
Días de recesión	—	—	—	3

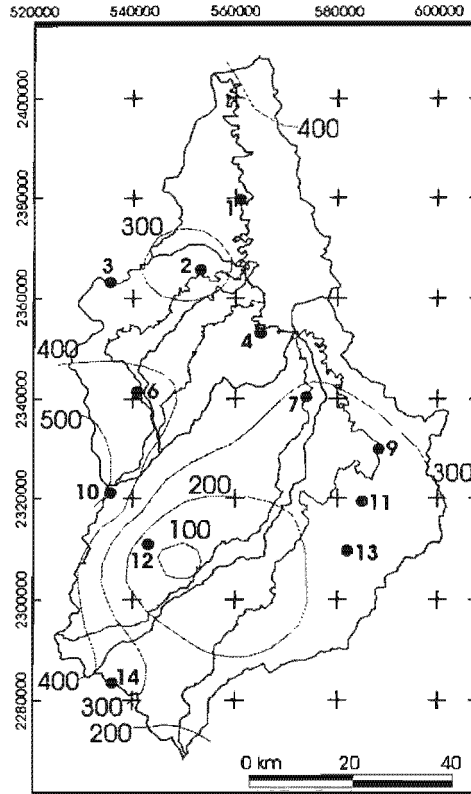
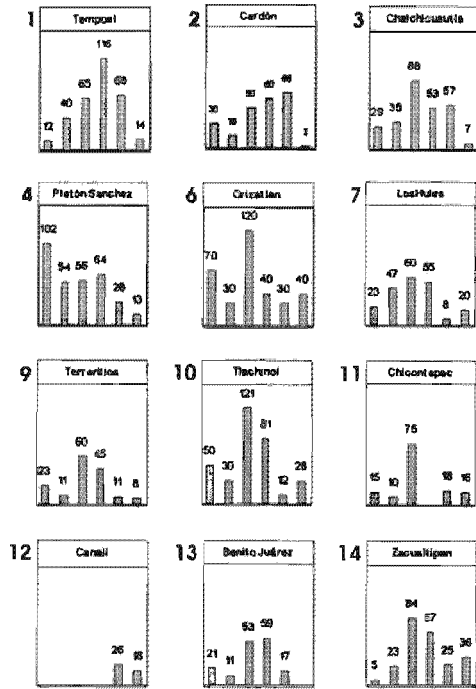
En lo que se refiere a la cuenca del río Tempoal el evento de septiembre de 1974 fue de diez días, de los cuales cinco fueron de crecida y tres de recesión, con cuatro días de desfase entre los centros de gravedad de las gráficas de precipitación y el hidrograma.

En la Figura 3.31, se observan los registros climatológicos e hidrológicos de las estaciones que estaban en servicio en el año 1975, a su vez, se observa la localización de cada una de las estaciones. Los valores de precipitación acumulada que se registraron del primero al 18 de septiembre de 1975 son superiores a los 1,000 mm al Oeste de la cuenca del río Tempoal, esta precipitación se concentró entre los días 8 y 13, como lo muestran las gráficas de precipitación, de los cuales el día 9 de septiembre fue el que registró la máxima

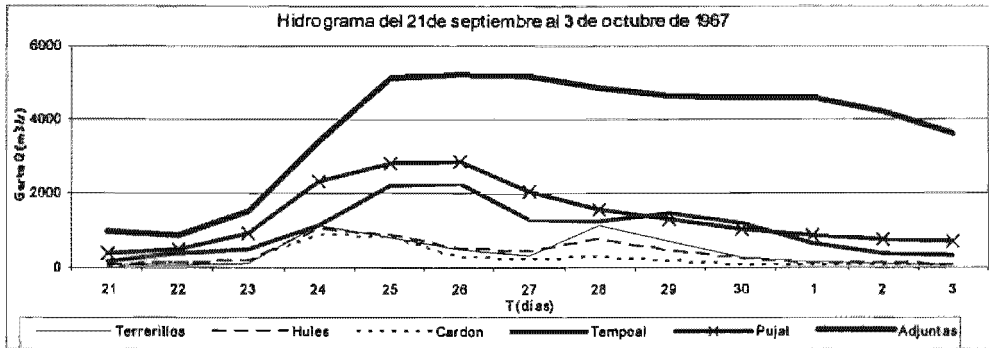
Tabla 3.9. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1975.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	3	4	6	7
Días de demora	2	2	3	4
Días de punta	5	5	7	8
Días de desfase de la punta	2	2	4	5
Días de base	10	11	8	13
Días de recesión	2	2	—	4

Gráficas de precipitación (en mm), del 21 al 26 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



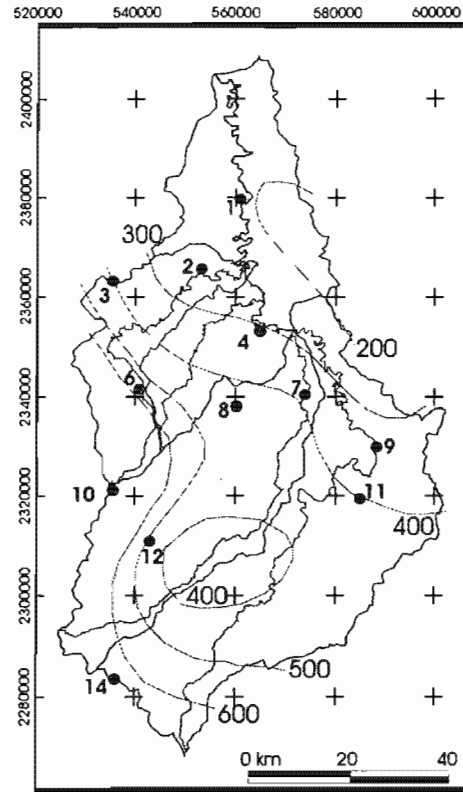
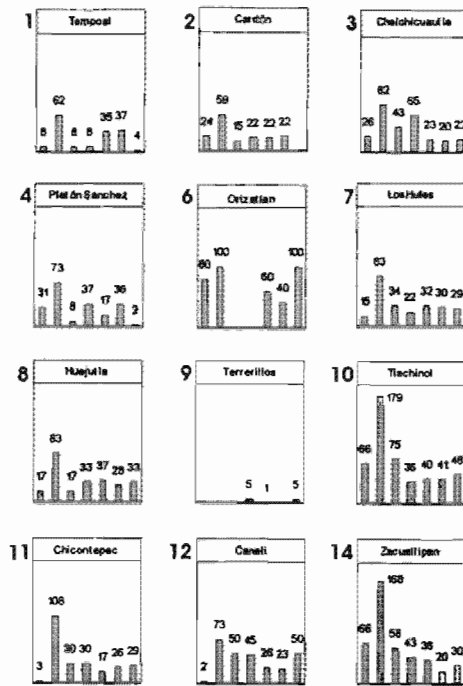
Precipitación acumulada (en mm) del 15 al 27 de septiembre 1967



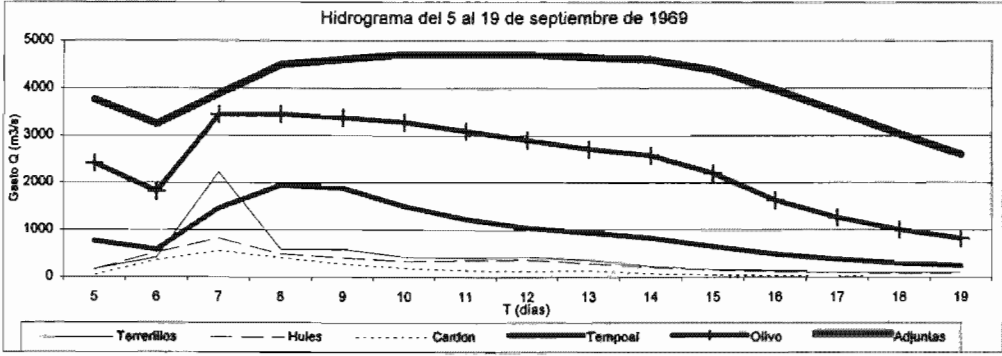
Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m3/s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	26	—	2,860	—
Terrerillos	Septiembre	24	21	1,153	4.05
Hules	Septiembre	24	12	1,009	4.09
Cardón	Septiembre	24	16	854	11.80
Tempoal	Septiembre	26	2	2,245	17.18
Las Adjuntas	Septiembre	26	7	5,233	16.65

Figura 3.28. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1967.

Gráficas de precipitación (en mm), del 5 al 11 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



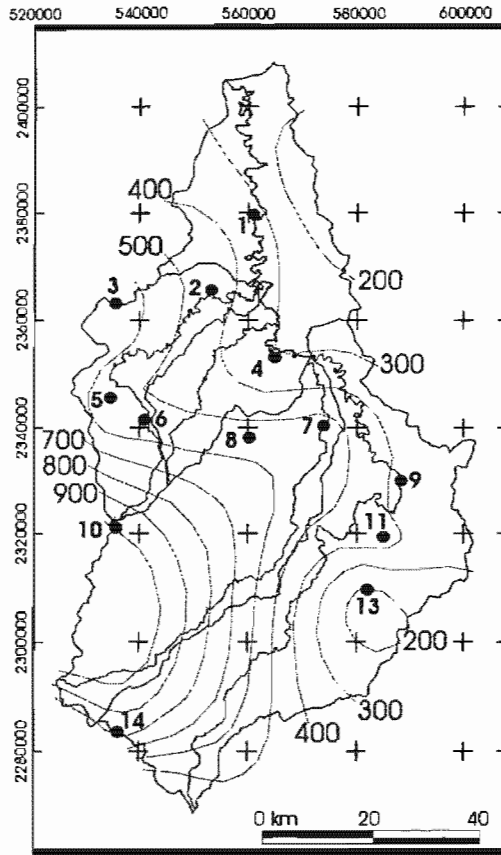
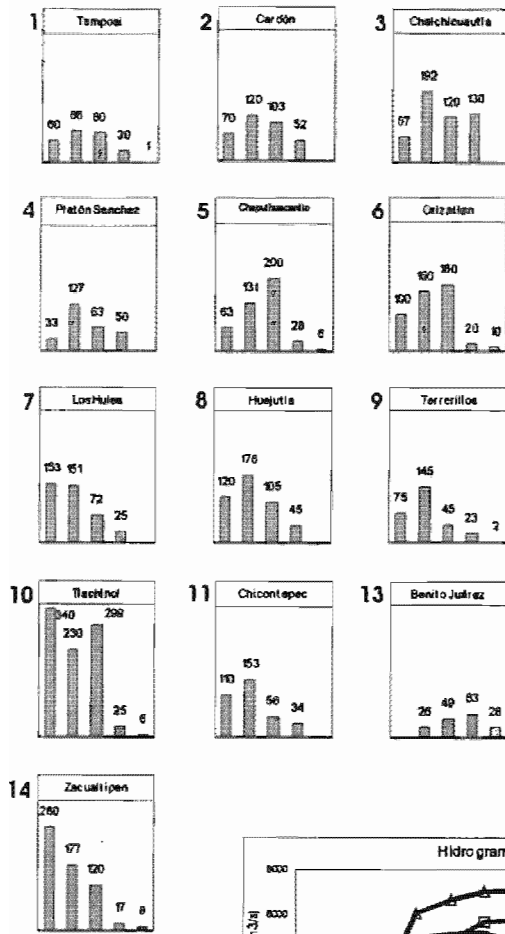
Precipitación acumulada (en mm) del 28 de agosto al 11 de septiembre 1969



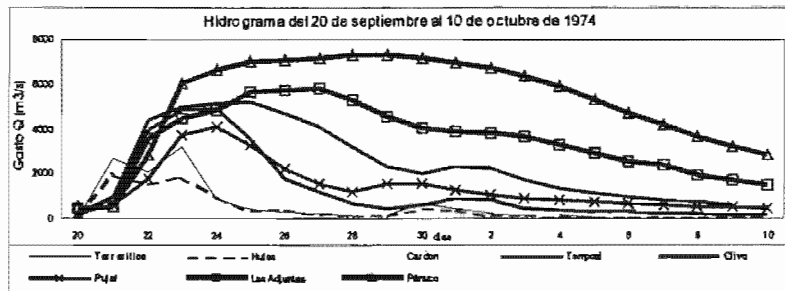
Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m3/s)	Lectura de escala (m)
Terrerillos	Septiembre	7	7	2,224	6.49
Hules	Septiembre	7	8	825	4.80
Cardón	Septiembre	7	12	556	10.64
Tempoal	Septiembre	8	20	1,948	17.48
Olivo	Septiembre	8	—	3,450	—
Las Adjuntas	Septiembre	11	6	4,721	17.24

Figura 3.29. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1969.

Gráficas de precipitación (en mm), del 20 al 24 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



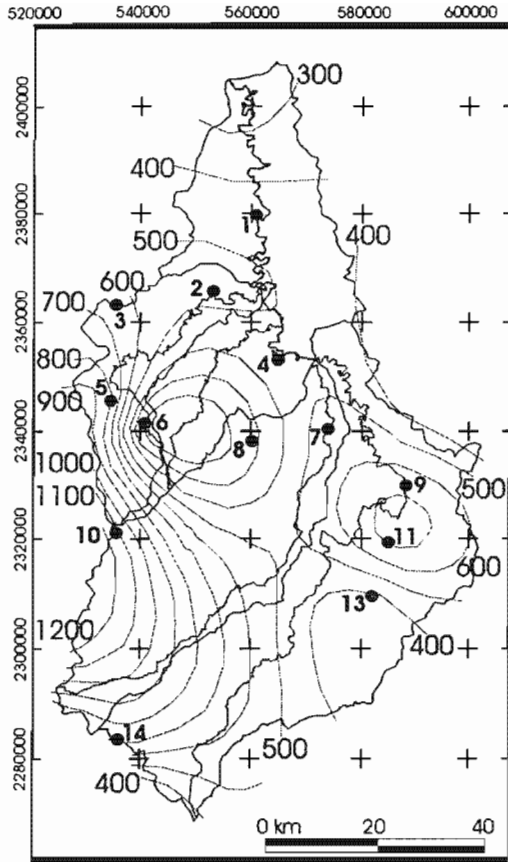
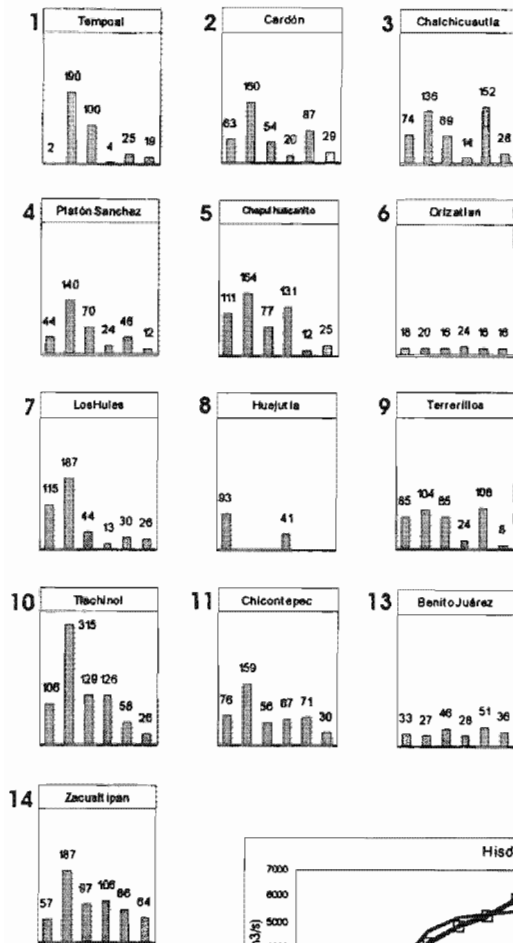
Precipitación acumulada (en mm) del 19 al 30 de septiembre 1974



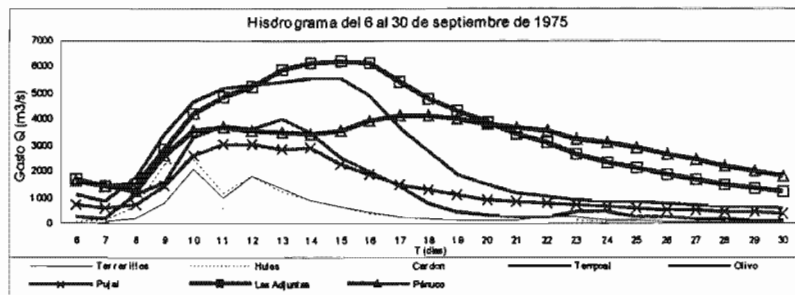
Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	24	—	4,140	—
Terrerillos	Septiembre	23	9	3,188	8.30
Hules	Septiembre	21	17	1,950	6.60
Cardón	Septiembre	23	17	1,198	13.94
Tempoal	Septiembre	24	7	4,950	22.51
Olivo	Septiembre	25	—	5,205	—
Las Adjuntas	Septiembre	27	9	5,820	18.02
Pánuco	Septiembre	29	3	7,300	7.94

Figura 3.30. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1974.

Gráficas de precipitación (en mm), del 8 al 13 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



Precipitación acumulada (en mm) del 1 al 18 de septiembre 1975



Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	12	—	3,038	—
Terrerillos	Septiembre	10	10	2,085	6.08
Hules	Septiembre	10	5	2,470	5.11
Cardón	Septiembre	12	20	1,204	13.94
Temporal	Septiembre	13	9	4,040	21.63
Olivo	Septiembre	15	—	5,570	—
Las Adjuntas	Septiembre	15	12	6,190	18.27
Pánuco	Septiembre	18	6	4,138	8.95

Figura 3.31. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1975.

Precipitación acumulada de 1,789 mm. En la subcuenca Los Hules se registró la máxima precipitación con 503 mm el día 9, de los cuales 315 mm se registraron en la estación Tlachinol, al Oeste de la subcuenca.

Debido a la intensidad y duración de las lluvias en cada una de las subcuencas se registraron en la estación Cardón, los segundos tiempos de base más extensos de los once años en análisis, los cuales fueron ocho días (Tabla 3.9), en cambio para toda la cuenca del río Tempoal fue de trece, de los cuales siete días fueron de crecida y cuatro de recesión.

Para la crecida del año 1976 se contó con el registro de doce estaciones climatológicas y cuatro hidrométricas (Figura 3.32). Las precipitaciones de este año aunque no fueron muy intensas, pero si muy extensas y disparejas en cada una de las subcuencas, lo que provocó que los hidrogramas no tuvieran el mismo comportamiento, los tiempos de base de los hidrogramas de las subcuencas Terrerillos, Los Hules y Cardón son los más amplios que se registraron en los once años en análisis, cada uno presenta tres eventos que se ven reflejados en el hidrograma de la estación Tempoal.

Tabla 3.10. Tiempos del comportamiento de la crecida de julio de 1976.

Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	4	8	2	4
Días de demora	2	1	2	2
Días de punta	5	8	2	6
Días de desfase de la punta	2	7	2	3
Días de base	9	15	13	14

En este año, los tiempos que se dieron al relacionar las gráficas de precipitación con los hidrogramas (Tabla 3.10) son poco comunes en la estación Los Hules, debido a que el hidrograma presenta tres eventos y el gasto máximo se registró en el tercer evento, en cambio para el resto de las estaciones el gasto máximo se registró en el primer evento.

En el año de 1978 se contó con el registro de trece estaciones climatológicas y tres hidrométricas en la cuenca del río Tempoal, lo cual se observa en la Figura 3.33. En este año, el 23 de septiembre fue el día con la mayor precipitación al

registraron una precipitación acumulada de 1,649 mm, de los cuales 786 mm se registraron en la subcuenca Cardón, lo cual seguramente fue la razón por la que no existió una continuidad en los registros hidrométricos de ese periodo. A su vez, en la Figura 3.33 se muestran los hidrogramas de las Terrerillos, Los Hules y Tempoal así como sus comparaciones con las estaciones Pujal, Las Adjuntas y Pánuco. Para la cuenca del río Tempoal los días de base fueron nueve, de los cuales cuatro fueron de crecida y tan sólo dos para que la última gota de lluvia desaguara hasta la estación Tempoal, las otras dos estaciones de las que se tuvo registro en ese año tuvieron un comportamiento similar (Figura 3.11).

Tabla 3.11. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1978.

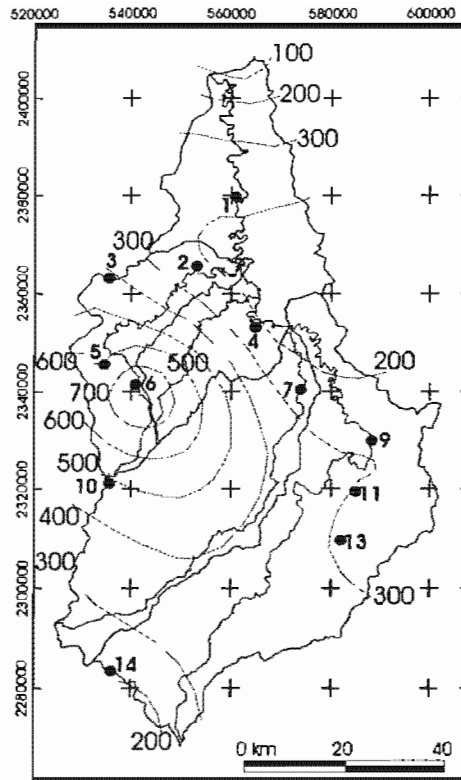
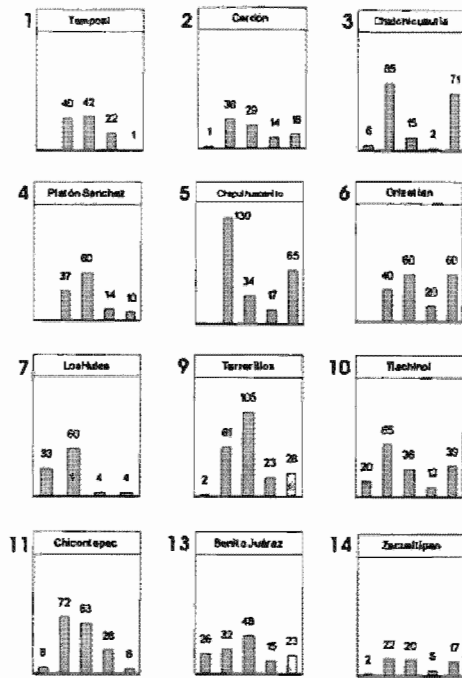
Tiempos	Terrerillos	Los Hules	Tempoal
Días de crecida	3	3	4
Días de demora	3	3	3
Días de punta	5	5	6
Días de desfase de la punta	3	3	3
Días de base	5	5	9
Días de recesión	2	2	2

Para el año 1993, se contó con el registro de siete estaciones climatológicas y tres hidrométricas (Figura 3.34). De los once años en estudio, este fue el único en el que los valores máximos de precipitación en toda la cuenca del río Tempoal se registraron en la estación Tempoal con 386 mm en sólo un día, esto se debió a que fueron lluvias de origen ciclónico y a la trayectoria del mismo ciclón. A pesar de haberse registrado el hidrograma que más días duró en la cuenca del río Tempoal de los once años en análisis, influyó poco en las inundaciones que se registraron en la llanura fluvial del curso bajo del río Panuco, debido a la poca

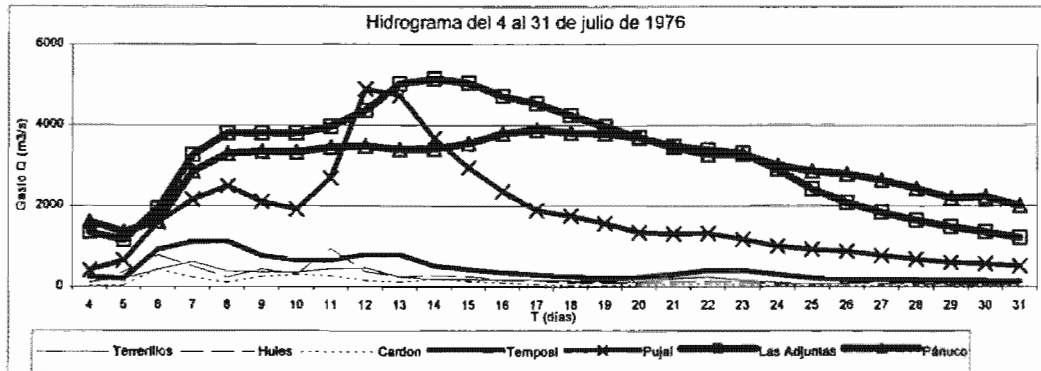
Tabla 3.12. Tiempos del comportamiento de la crecida de septiembre de 1993.

Tiempos	Los Hules	Cardón	Tempoal
Días de crecida	3	4	4
Días de demora	3	2	4
Días de punta	3	4	4
Días de desfase de la punta	2	2	3
Días de base	9	14	22
Días de recesión	2	3	8

Gráficas de precipitación (en mm), del 4 al 8 de julio (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



Precipitación acumulada (en mm) del 1 al 18 de julio de 1976

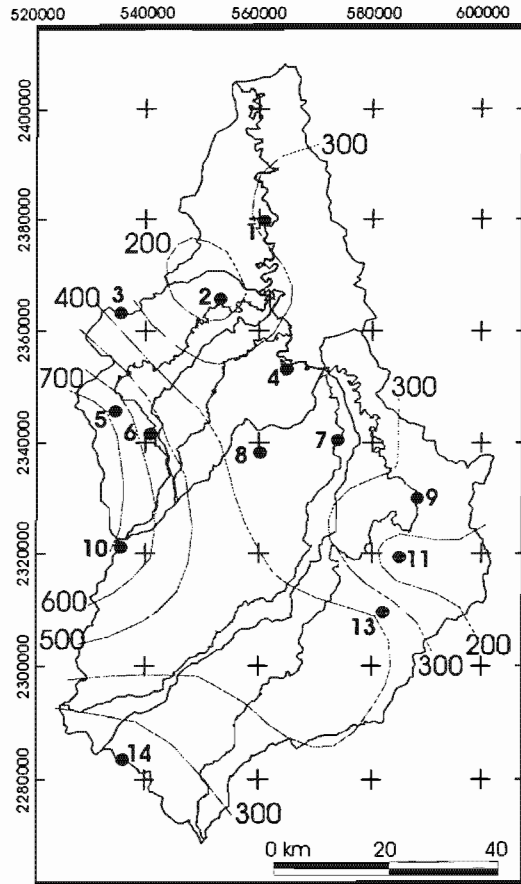
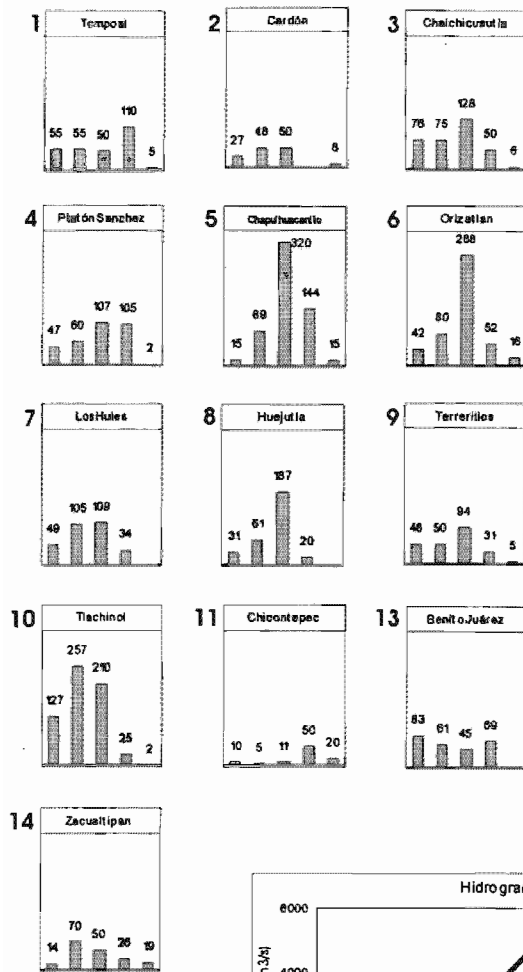


Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Julio	12	—	4,902	—
Terrerillos	Julio	7	6	616 *	3.56
Hules	Julio	11	17	938	3.04
Cardón	Julio	6	12	420	8.60
Tempoal	Julio	8	6	1,125 *	14.10
Las Adjuntas	Julio	14	12	5,147	17.57
Pánuco	Julio	17	—	3,886	8.15

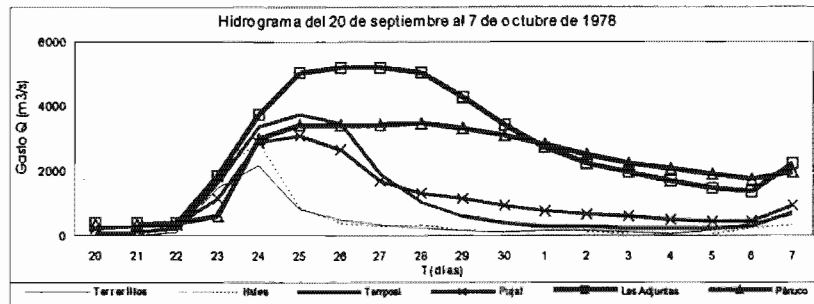
* No son máximos anuales

Figura 3.32. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de julio de 1976.

Gráficas de precipitación (en mm), del 21 al 25 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



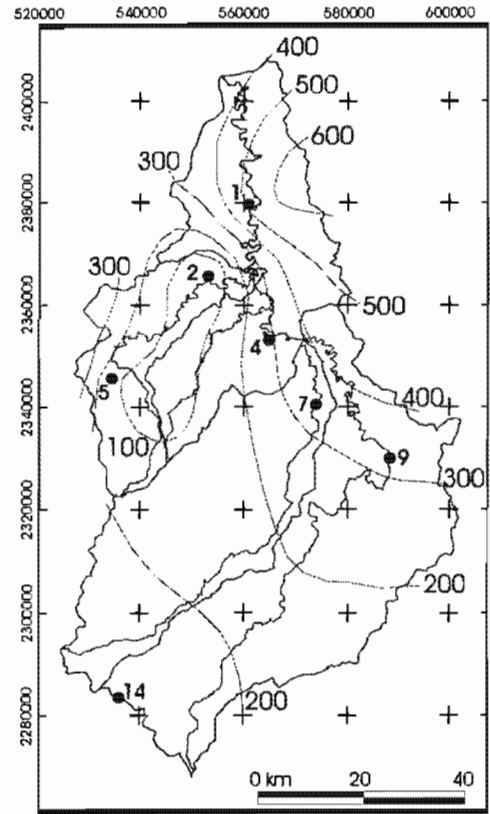
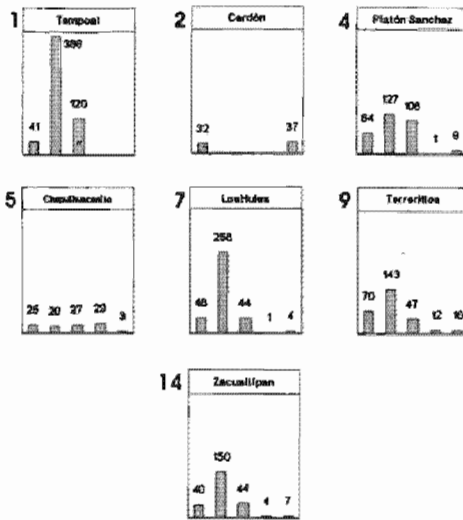
Precipitación acumulada (en mm) del 18 al 28 de septiembre de 1978



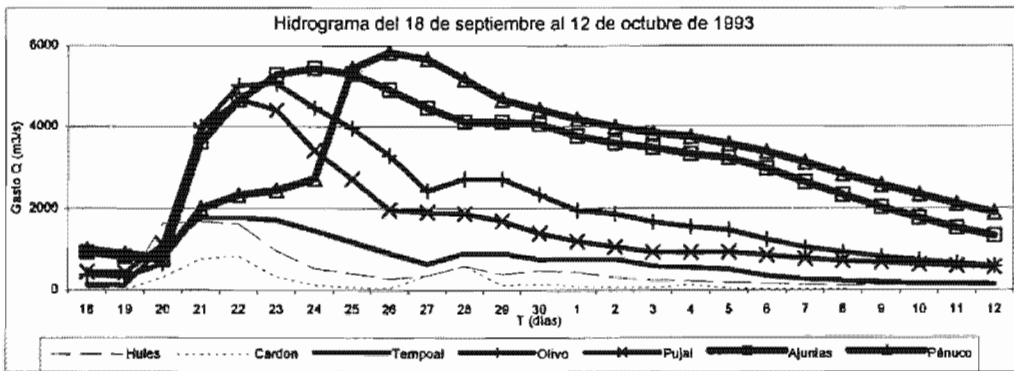
Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m ³ /s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	25	—	3,056	—
Terrerillos	Septiembre	24	5	2,152	93.12
Hules	Septiembre	24	2	2,874	5.48
Cardón	Septiembre	24	20	1,390	15.22
Tempoal	Septiembre	25	15	3,725	21.28
Las Adjuntas	Septiembre	26	18	5,214	17.10
Pánuco	Septiembre	28	—	3,471	7.18

Figura 3.33. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1978.

Gráficas de precipitación (en mm), del 19 al 23 de septiembre (los números de cada estación corresponden a su localización en el mapa)



Precipitación acumulada (en mm) del 19 al 23 de septiembre de 1993



Estación	Mes	Día	Hora	Gasto máximo (m³/s)	Lectura de escala (m)
Pujal	Septiembre	22	—	4,679	—
Hules	Septiembre	21	6	1,684	5.17
Cardón	Septiembre	22	7	826	13.12
Tempoal	Septiembre	22	—	1,778	—
Olivo	Septiembre	23	—	5,065	—
Las Adjuntas	Septiembre	24	9	5,438	19.27
Pánuco	Septiembre	26	17	5,836	8.77

Figura 3.34. Registros hidrológicos y climatológicos de la inundación de septiembre de 1993.

precipitación que se registró en la mayor parte de la cuenca. El tiempo que duró todo el evento fue de 22 días, de los cuales cuatro fueron de crecida y ocho de recesión (Tabla 3.12).

Los tiempos específicos del comportamiento del escurrimiento en los años en que se presentaron los máximos gastos en las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco se observan en la Tabla 3.13. Estos tiempos específicos se basan en los tiempos registrados en las estaciones climatológicas que se encuentran dentro de la cuenca del río Tempoal, ya que lo que se quiere resaltar es su influencia en las inundaciones de la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

Tabla 3.13. Tiempos del comportamiento de las máximas crecidas en las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco.

Estación hidrométrica	Año	Días de crecida	Días de demora	Días de punta	Días de desfase de la punta	Días de base
Pánuco	1955	—	—	8	6	—
Las Adjuntas	1956	—	—	10	6	—
Las Adjuntas	1958	6	6	8	5	18
Las Adjuntas	1966	3	5	11	4	9
Las Adjuntas	1967	5	8	6	4	25
Las Adjuntas	1969	6	6	8	6	18
Las Adjuntas	1974	8	7	9	7	20
Pánuco	1974	10	8	11	9	21
Las Adjuntas	1975	8	7	10	7	22
Pánuco	1975	11	8	13	10	24
Las Adjuntas	1976	10	11	12	9	27
Pánuco	1976	13	9	15	12	29
Las Adjuntas	1978	5	5	7	4	13
Pánuco	1978	7	6	9	6	14
Las Adjuntas	1993	5	9	6	5	23
Pánuco	1993	7	11	8	7	25

De los once años que registraron los máximos gastos en el curso bajo del río Pánuco, el evento del año 1966 es el que mostró la respuesta hidrológica más rápida, ya que presenta los tiempos más cortos (Tabla 3.13). Los días que tardó en crecer el gasto, desde el punto del levantamiento hasta que se registró el gasto máximo, fue de tres días de crecida. El tiempo que pasó de desfase entre los centros de gravedad del hietograma y el hidrograma, fue de cinco días de demora.

Los días de punta, que es el tiempo que pasa desde el comienzo de la lluvia hasta que se registra el máximo gasto, fue de once días. Los días de desfase de la punta, que es el tiempo que pasa desde el centro de gravedad del hietograma hasta el momento del momento del máximo gasto, fue de cuatro días.

En cambio, el año de 1976 es el que presenta los tiempos específicos del comportamiento de la crecida más largos, ya que en las dos estaciones (Las Adjuntas y el Pánuco), que se localizan en el curso bajo del río Pánuco presentan los tiempos más grandes (Tabla 3.13).

3.6.1. Conclusiones de este subcapítulo

La influencia de los gastos registrados en la cuenca del río Tempoal en las inundaciones que ocurren en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco es evidente, ya que en cinco de las once inundaciones, el gasto aportado por la cuenca del río Tempoal es superior al de la cuenca del río Tampaón.

En el año 1955, las diferencias de los gastos registrados entre las estaciones de Pujal (río Tampaón) y Tempoal (río Tempoal) son mínimas, de tan sólo 52 m³/s. Esto indica que a pesar de que la cuenca de Tempoal es cinco veces más pequeña, su localización y sus características físicas como la topografía influyen para que se registren los elevados gastos.

Los tiempos específicos del comportamiento del escurrimiento de la cuenca del río Tempoal, obtenidos a partir de la relación de los hidrogramas con los hietogramas, en los once años que se registraron las máximas crecidas en el curso bajo del río Pánuco, tienen una relación más estrecha con la distribución temporal y espacial de la precipitación que con algún otro factor, como podría ser la vegetación y el uso del suelo.

CAPÍTULO 4. GEOMORFOLOGÍA

4.1. Introducción

En este capítulo se describe el levantamiento geomorfológico que se realizó, el cual ayudó a la identificación de las unidades geomorfológicas fluviales de la llanura baja del curso bajo del río Pánuco (ver el mapa geomorfológico fluvial anexado al final del trabajo). Cada una de las veintisiete unidades que se identificaron cuenta con una dinámica fluvial diferente, y que a su vez se ve reflejada en sus características biofísicas que se presentan en ellas.

Otro resultado que se presenta, es el del análisis del índice de sinuosidad (IS), con el cual se identificaron tres secciones del curso bajo del río Pánuco con diferente sinuosidad. En la descripción de cada uno de los sectores se resaltan las diferencias que existen en las unidades geomorfológicas fluviales.

También se presentan los resultados obtenidos del análisis textural de las muestras de sedimentos, con el que se obtuvieron las diferentes clases texturales de cada uno de los veintinueve sitios realizados durante el trabajo de campo. Este análisis indica la distribución textural en diferentes secciones de la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco, la cual a su vez, se relaciona íntimamente con la dinámica fluvial de cada una de las diferentes unidades geomorfológicas fluviales.

Por último, se realiza la identificación de las áreas propensas a inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, lo cual es el objetivo general del trabajo. Esta identificación se basó en los diferentes estudios que se realizaron, como el análisis textural, el análisis hidrológico y principalmente en la evaluación geomorfológica fluvial, esto también se complementó con los niveles altitudinales y con los resultados interpretativos de la imagen de satélite procesada. Las áreas propensas a inundación, se clasificaron en cuatro categorías: áreas sin inundaciones, áreas poco propensas a inundación, áreas medianamente propensas a inundación y en áreas muy propensas a inundación.

4.2. Unidades geomorfológicas

El área específica de estudio, que es donde se hizo el levantamiento geomorfológico, está constituida por dos tipos de relieve generales: las planicies y los lomeríos.

La planicie es el principal objeto de investigación de este estudio, se localiza en una amplia franja a ambos lados del curso del río Pánuco, ocupa el 57% del total del área. Se divide en dos, a partir de sus características, una como tipo de relieve es planicie fluvial, con origen general exógeno y específico acumulativo, su edad es Cuaternaria y está compuesta básicamente por depósitos aluviales y lacustres, mientras que la otra es del tipo de relieve de planicie costera.

La planicie fluvial acumulativa, a su vez se divide en unidades y formas geomorfológicas, que tienen una geometría y una dinámica fluvial específica. A continuación se hace la descripción de cada una de estas unidades y formas geomorfológicas.

La llanura de inundación es un área básicamente plana, en la que las únicas ondulaciones que tiene son las diversas unidades y formas geomorfológicas creadas por la dinámica fluvial. Esta unidad se divide en dos, en llanura alta de inundación y llanura baja de inundación, las cuales cuentan con características específicas que las distinguen (ver el mapa geomorfológico fluvial anexo al final del trabajo). La llanura alta es la que menos se ve afectada por las inundaciones, ya que tiene una mayor altitud que el resto del área, y sólo las inundaciones que generaron los gastos más elevados son las que la afectan. En toda el área de estudio abarca un 14.5%. En la Figura 4.1 se observa el área donde alcanza su mayor extensión en cambio, en la Figura 4.2 se puede observar que la llanura alta de inundación disminuye considerablemente en superficie, al grado que en algunas partes el leveé principal limita con la llanura baja.

La llanura baja de inundación se caracteriza por ser afectada más frecuentemente por las inundaciones, esto se debe a que es una gran depresión, en la que sus límites coinciden, en la mayoría de los casos, con los límites generales de la planicie fluvial. Esta gran exposición a las inundaciones ordinarias presenta diferentes niveles de intensidad, los cuales no se delimitan en el mapa

geomorfológico, pero que pueden ser inferidos a través de la fotointerpretación, ya que las áreas cercanas a las grandes depresiones marginales perennes son las que primero se verán afectadas por las inundaciones, como sucede con las áreas que rodean a la laguna Cerro de Pez. En la Figura 4.1 se observa que la llanura baja de inundación se localiza en los extremos de la llanura fluvial por ser de las áreas más bajas, en cambio, en la Figura 4.2 es en donde alcanza su mayor extensión con aproximadamente 20 km desde el lecho menor. Es una unidad que presenta una alta densidad y variedad de formas geomorfológicas fluviales, como son los diferentes tipos de depresiones y cauces, leveés secundarios y vertederos de displayamiento, lo cual indica que es un área con una intensa actividad fluvial durante las inundaciones ordinarias.

La llanura baja de inundación es una gran depresión en la que existen unidades de menor altitud, como son las depresiones inferiores, las depresiones marginales perennes y no perennes. Las primeras se caracterizan por ser áreas más bajas a las contiguas, alejadas de las márgenes de toda la llanura fluvial, y se localizan con mayor densidad en la llanura baja de inundación (Figura 4.3). Son terrenos que en las inundaciones se cubren por el agua y en el resto del año, la gran mayoría, son áreas húmedas.

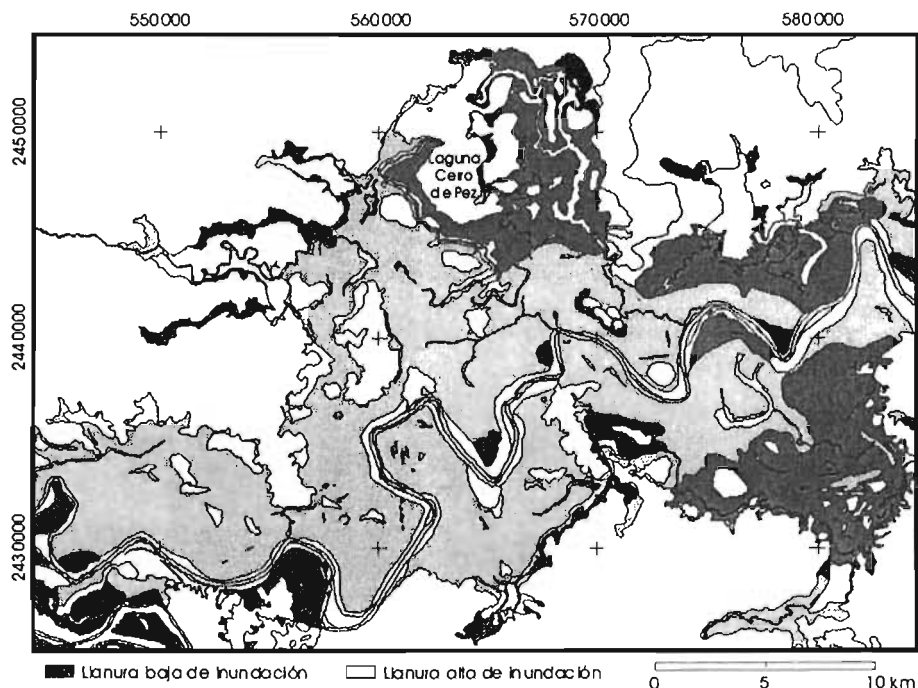


Figura 4.1. Localización de las llanuras de inundación alta y baja al Sur de la laguna Cerro de Pez.

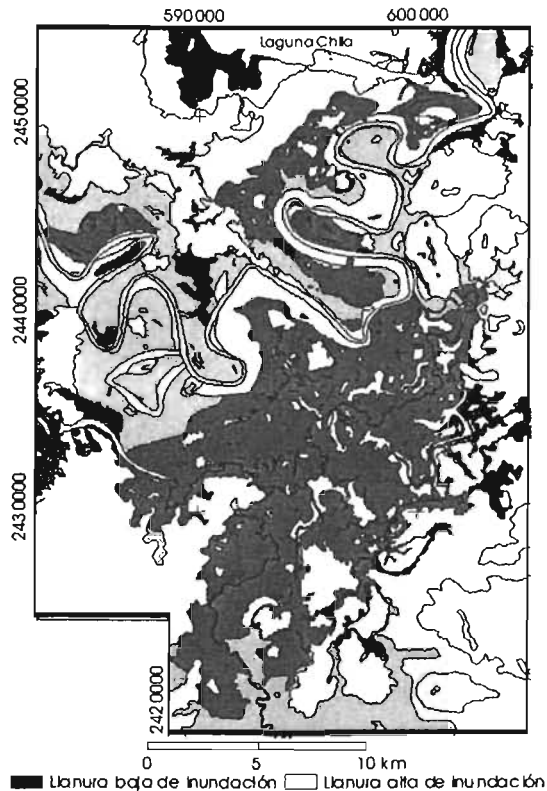


Figura 4.2. Localización de las llanuras de inundación alta y baja, al Sur de la Laguna Chila.

Las otras depresiones son marginales, las cuales no sólo están en contacto con los lomeríos, sino que también gran parte de ellas, sin importar su tamaño, se encuentran encajonadas por las elevaciones. Se clasificaron, según la permanencia con la que están cubiertas de agua, por lo que son de dos tipos, las intermitentes y las perennes. En la Figura 4.3 se muestra con detalle parte de la llanura baja de inundación más extensa en el área de estudio, en la que se puede observar la alta densidad de las diferentes depresiones, entre las que se encuentran las depresiones marginales. En cambio en la Figura 4.4, se muestra otra parte de la planicie fluvial en la que la densidad de pequeñas depresiones es menor, pero que se pueden observar dos grandes depresiones marginales intermitentes que se encuentran encajonadas por los lomeríos, a su vez, también se puede ver una de las grandes depresiones marginales perennes (Laguna Cerro de Pez), que se encuentra en la llanura baja de inundación. Las más grandes depresiones marginales perennes se encuentran próximas a la desembocadura en el Golfo de México.

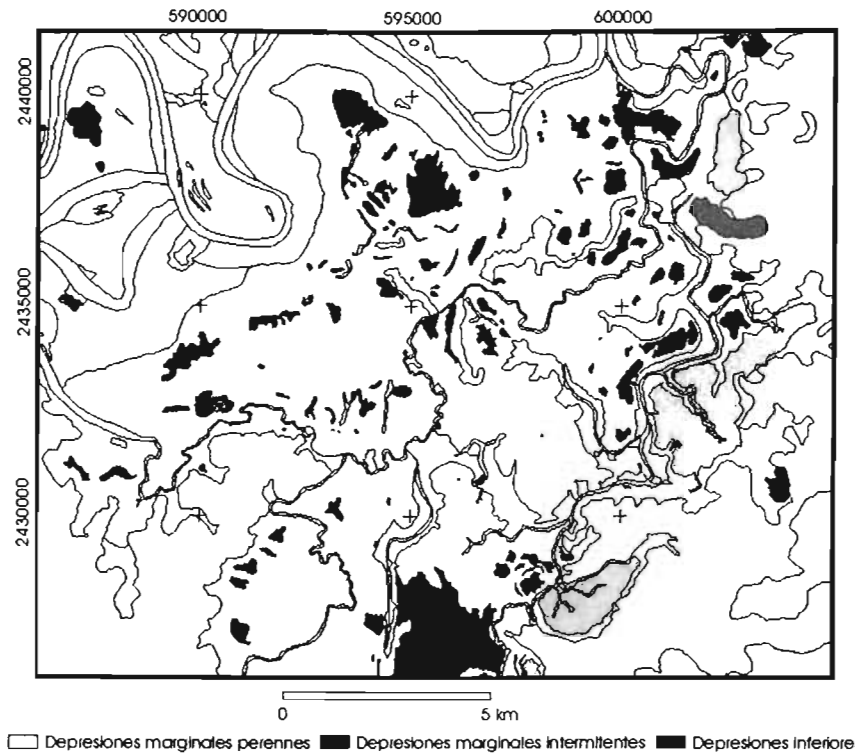


Figura 4.3. Imagen a detalle de la llanura baja de inundación en la que se muestran los tipos de depresiones al Sur de la laguna Chila.

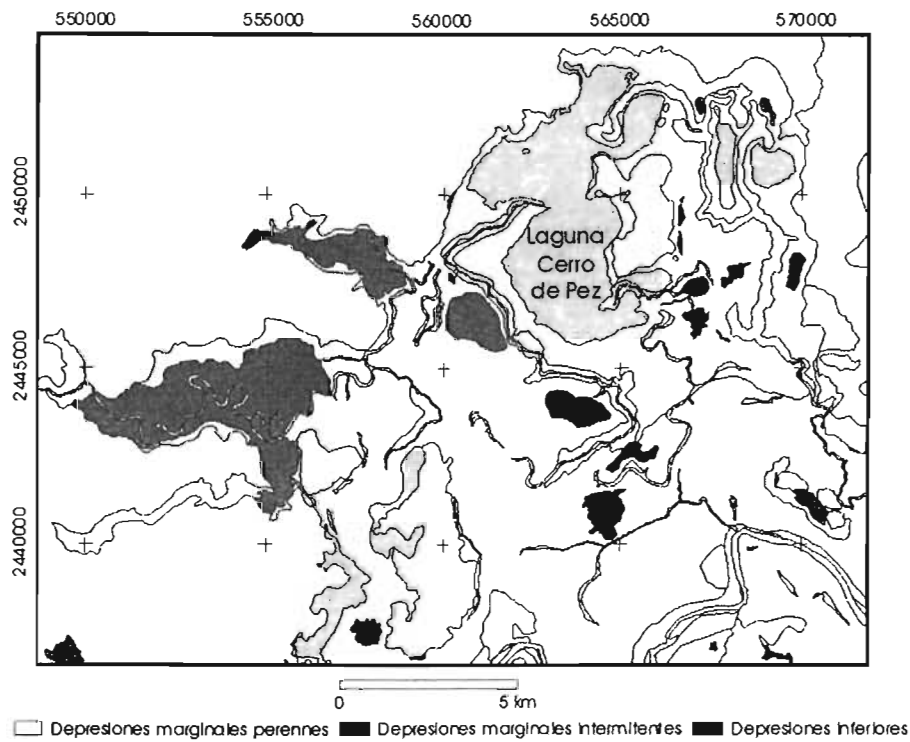


Figura 4.4. Imagen a detalle de la llanura fluvial en la que se muestran los tipos de depresiones, al Sur de la localidad de Ébano.

Otra unidad geomorfológica fluvial es el lecho fluvial, el cual se divide en dos, lecho menor y lecho mayor. El lecho menor también es conocido como el cauce ordinario y se caracteriza por estar a mayor altitud que la llanura de inundación y también porque todo el año está cubierto por agua (Figura 4.5). El lecho menor que comprende este estudio es desde la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón hasta la desembocadura en el Golfo de México, su anchura varía a lo largo de su recorrido, desde 50 a 400 m aproximadamente, y en lo que se refiere a su profundidad, no se tienen medidas, pero con respecto a lo que dice la teoría se puede inferir que varía considerablemente, sobre todo en los lugares donde el índice de sinuosidad es mayor.

El lecho mayor es la unidad que con mayor frecuencia se ve afectada por las crecidas del curso bajo del río Pánuco, debido a que se localiza junto al lecho menor. Los sedimentos que predominan en esta unidad son las arenas finas, debido a la gran energía de la corriente de crecida que logra suspender partículas gruesas (Pedraza, 1996). Su localización y amplitud dependen de la dinámica fluvial. En la Figura 4.5, se observa con detalle una sección del área de estudio, en la que se muestran dos lechos mayores, uno de ellos es de los más extensos en toda el área de estudio.

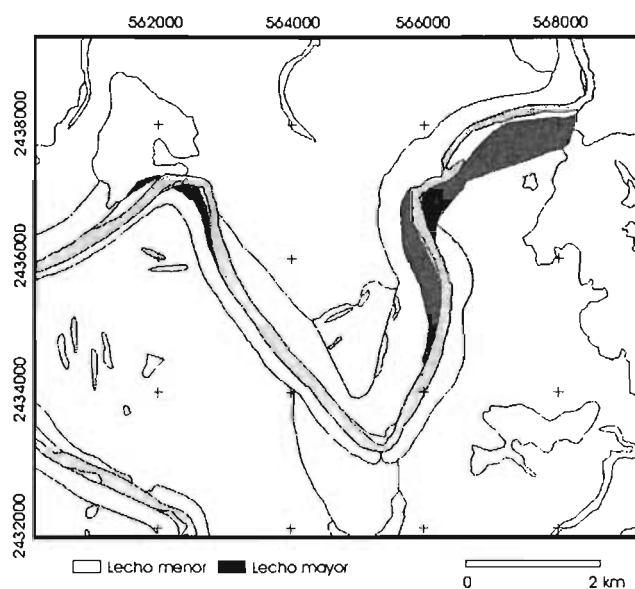


Figura 4.5. Imagen a detalle del área de estudio al sur de la laguna Cerro de Pez que muestra el lecho menor y lecho mayor.

Otras unidades geomorfológicas fluviales que dan muestra de la intensa dinámica fluvial que ha existido y que existe en la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco son los diferentes tipos de cauces, entre los que se encuentran los abandonados inactivos en crecidas, los activos en crecidas y los permanentes. Los primeros se pueden dividir en cauce abandonado inactivo en crecidas, como tal, y en meandros abandonados.

Los cauces abandonados inactivos en crecidas son antiguos lechos menores que han sido abandonados por la intensa actividad fluvial durante las crecidas, este cambio es la renovación del lecho menor por la llanura fluvial. Durante las crecidas son cubiertos por agua, pero ya no presentan una actividad fluvial. En el área de estudio, todas estas unidades se concentran al Suroeste, en la llanura del río Moctezuma y sólo una unidad corresponde a la llanura fluvial acumulativa del río Pánuco (Figura 4.6).

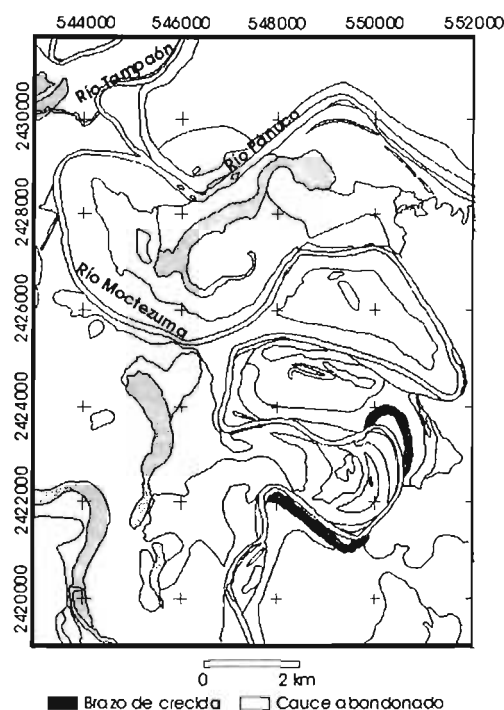


Figura 4.6. Imagen a detalle del área de estudio, al Sur de la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón, que muestra la localización de los cauces abandonados inactivos en crecidas.

Los meandros abandonados también son muestra de la intensa actividad fluvial que ha tenido el lecho menor en la llanura fluvial del río Pánuco, son cauces abandonados inactivos en crecidas, su origen no se debe a la divagación que

tiene el lecho menor en la llanura fluvial, sino al estrangulamiento del lecho menor. Durante las crecidas se cubren de agua pero no presentan actividad fluvial. Durante las inundaciones son unidades que fácilmente se anegan por ser áreas deprimidas con respecto a las que las rodean. En dos de las tres unidades que se presentan en el área de estudio han quedado muy separadas del actual lecho menor (Figura 4.8), lo cual indica que también ha existido una divagación del lecho menor en la llanura, en cambio en el meandro abandonado que se observa en la Figura 4.7 no ha existido alguna renovación, ya que se localiza junto al lecho menor.

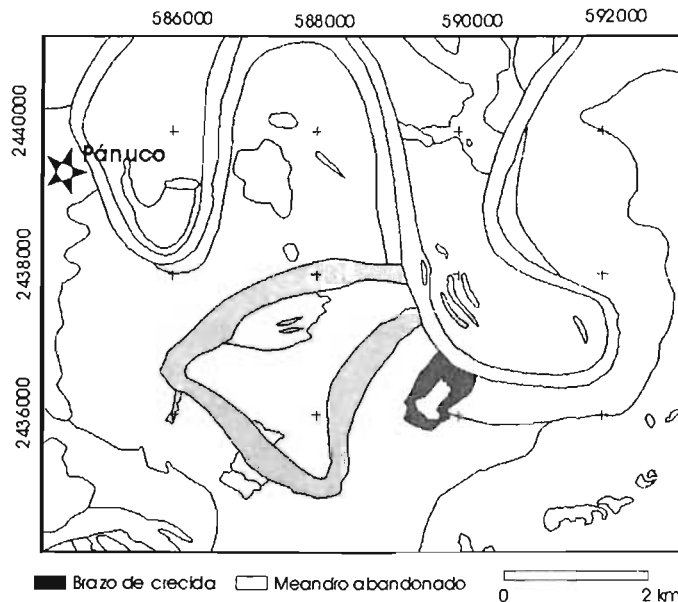


Figura 4.7. Imagen a detalle del área de estudio, al Este de la localidad Pánuco, en la que se logra observar un meandro abandonado y un brazo de crecida.

Los cauces activos en crecidas se caracterizan porque durante gran parte del año no tienen actividad fluvial, pero durante las inundaciones juegan un papel muy importante, ya que parte del escurrimiento que se desborda en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco es canalizado por estos cauces hasta las áreas deprimidas que se encuentran en los márgenes de la planicie. Son unidades angostas, pero que en algunos casos, llegan a medir varios kilómetros de longitud (Figura 4.8) y en otros, son cauces que cuentan con leveés.

Otra unidad que sólo presenta actividad durante las crecidas es el brazo de crecida, el cual se caracteriza por ser un área de desbordamiento durante las

mismas, con la característica de que el flujo desbordado regresa al lecho menor. En todo el mapa geomorfológico fluvial del curso bajo del río Pánuco, existen tres brazos de crecidas, de los cuales dos se encuentran río arriba de la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón (Figura 4.6), el otro se localiza al Este de la población de Pánuco, en la parte externa de un meandro (Figura 4.7).

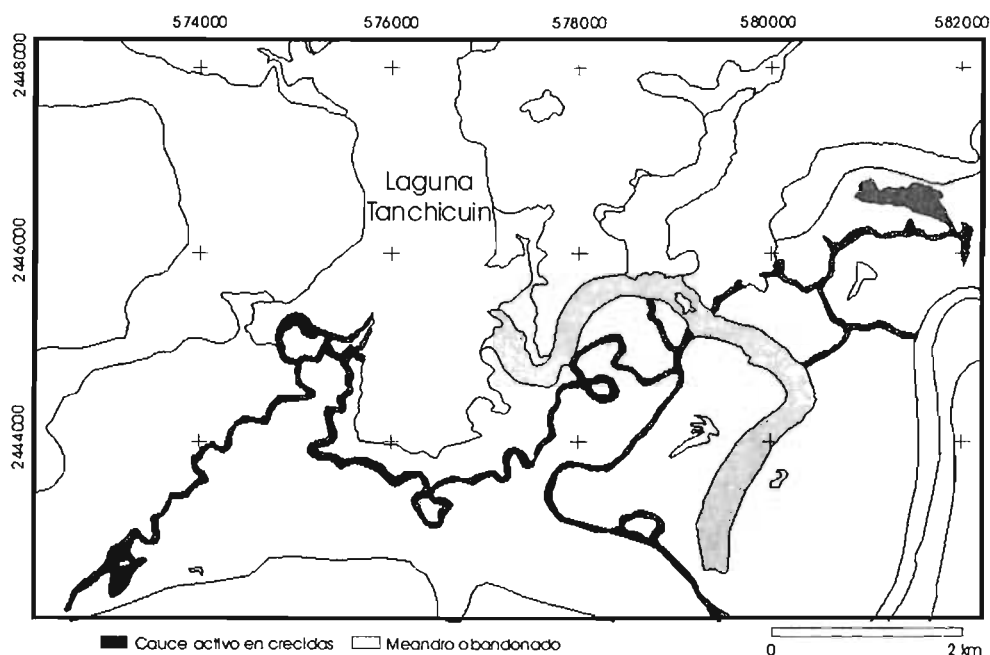


Figura 4.8. Imagen a detalle del área de estudio, al Noroeste de la población Pánuco, en la que se observa un cauce activo en crecidas y un meandro abandonado en una de las llanuras bajas de inundación.

El cauce perenne se caracteriza porque presenta un escurrimiento durante todo el año, como sucede con los cauces que se localizan al Sur del área de estudio, en los cuales, su fuente de escurrimiento proviene de la subcuenca del Río Hondo, en cambio los cauces que se encuentran al Norte de la planicie fluvial, su escurrimiento proviene de la Laguna Cerro de Pez (Figura 4.9). Estos cauces juegan un papel importante durante las inundaciones, ya que cuando éstas existen, la dirección en la que ellos fluyen cotidianamente cambia, ya que parte del escurrimiento desbordado fluye en ellos hasta la llanura baja de inundación de la Laguna Cerro de Pez.

Uno de estos cauces perennes es nombrado corriente Yazoo (Guerra, 1980), el cual constituye un tipo muy especial, es característico de las llanuras de

inundación, y se caracteriza por divagar paralelo al lecho menor. En el área de estudio, se localiza al sur de la planicie fluvial, al margen de la llanura baja de inundación y paralelo al lecho menor por más de 82 km (Figura 4.9). Su función durante las inundaciones es la de drenar las áreas anegadas en la llanura fluvial.

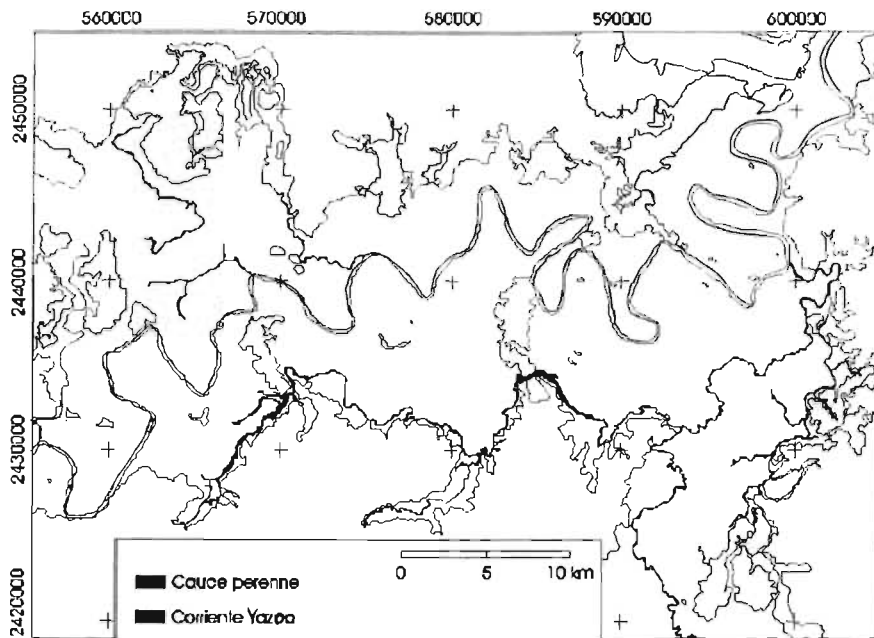


Figura 4.9. Cauces perennes de la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

Otra unidad geomorfológica fluvial es el leveé, también llamado dique o bordo natural. Se caracteriza por ser un muro de contención a las crecidas, se localiza por lo regular al margen del lecho menor. Sus características dependen de la dinámica fluvial, un ejemplo es el que se observa en el área de estudio, en el que existe la relación de entre mayor sea el índice de sinuosidad (IS) del cauce, mayor será la anchura del leveé. La clase textural sobre los leveés es variable, ya que entre mayor sea la distancia al lecho menor, los sedimentos son más finos, esto se debe a la capacidad de carga de la corriente durante las crecidas, ya que la energía es menor cada vez que se aleja más del lecho menor.

Con el fin de caracterizar los leveés en el área de estudio, se clasificaron en tres tipos, a pesar de tener el mismo origen fluvial acumulativo, el leveé principal que se localiza a los costados del lecho menor (Figura 4.10) y que es, a su vez, el más extenso; el leveé secundario, que se sitúa a los costados de los cauces

secundarios y que se encuentra básicamente en la llanura baja de inundación (Figura 4.11); y por último, los leveés abandonados, los cuales tienen el mismo origen, pero se localizan en los costados de meandros abandonados y aparecen como pequeñas elevaciones (Figura 4.12).

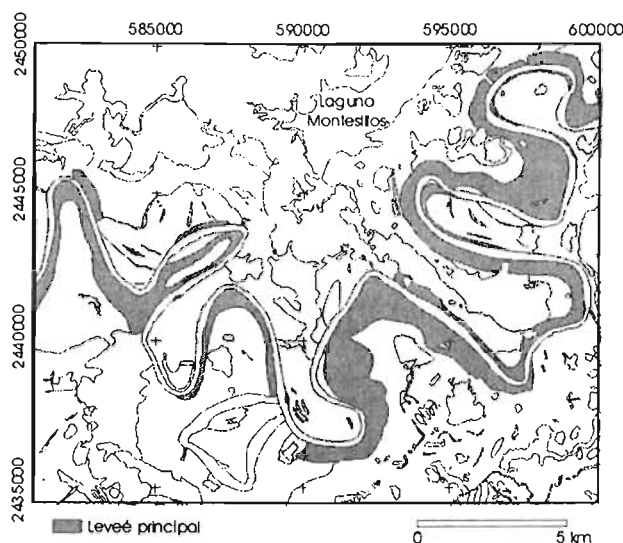


Figura 4.10. En esta imagen se muestra la sección donde el leveé principal alcanza su mayor amplitud.

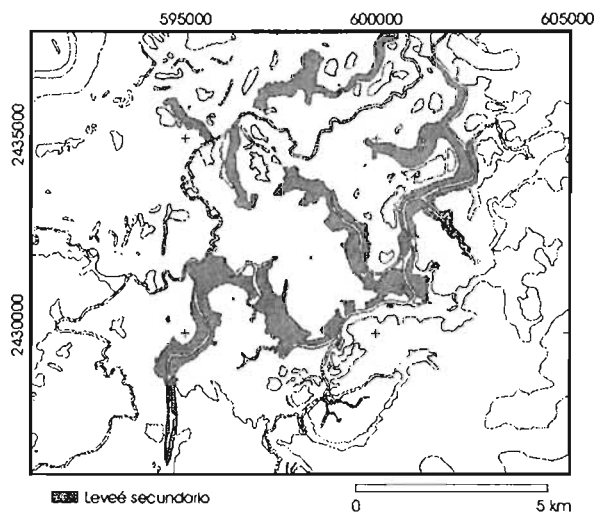


Figura 4.11. Leveés secundarios pertenecientes a cauces perennes en la llanura baja de inundación al Sur de las lagunas Montesillos y Chila.

En la Figura 4.13, se observan dos leveés con características diferentes, el leveé A se localiza en el Sitio 3 del levantamiento de muestras de sedimentos, y en el que predominan los materiales gruesos con más del 50% de arenas, en cambio

el leveé B es más amplio y se localiza en el Sitio 17, y en él predominan los limos. Estas diferencias se deben a la dinámica fluvial que se presenta en cada lugar de la llanura fluvial.

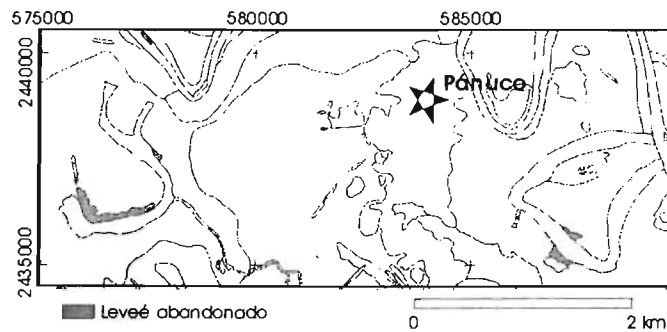


Figura 4.12. Levees abandonados con sus respectivos meandros abandonados en la llanura alta de inundación.

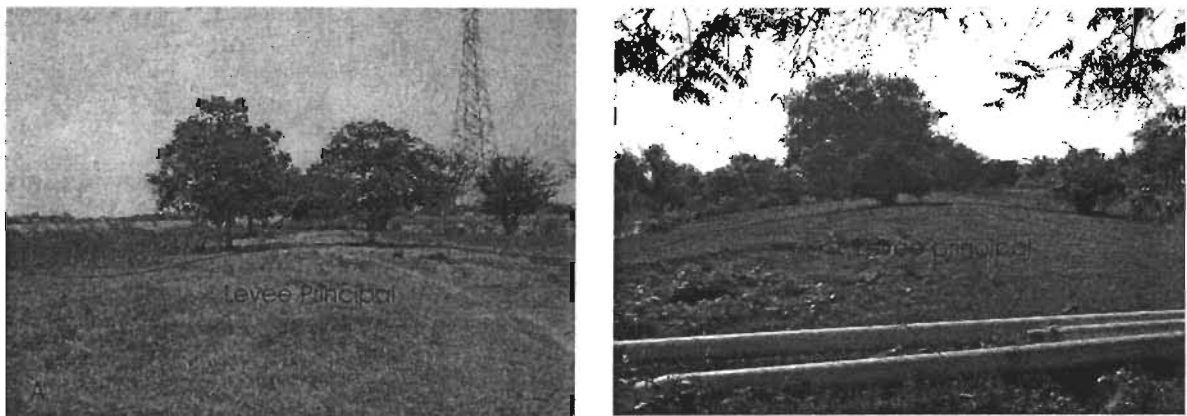


Figura 4.13. Levee principal, A se localiza al Sur de la población Tamos (en el Sitio 3 del levantamiento de muestras de sedimentos), y B al Este de la población Pánuco (en el Sitio 17).

Otra forma geomorfológica fluvial son los bancos fluviales, los cuales son islas conformadas básicamente por materiales gruesos, son terrenos que sobresalen ligeramente del nivel del agua, se localizan al centro del lecho menor, su ubicación y extensión dependen de la dinámica fluvial en el lecho menor. En la Figura 4.14, se observa el banco fluvial más grande de toda el área de estudio, el cual durante las inundaciones queda totalmente cubierto por el escurrimiento.

Las barras marginales son otra forma geomorfológica fluvial, también son terrenos que sobresalen ligeramente del nivel del agua, se localizan al margen del lecho

menor y por lo regular al interior de los meandros (Figuras 4.14, 4.15 y 4.16). Su origen, extensión y ubicación dependen de los flujos que se generan al interior del lecho menor, como es el caso del flujo helicoidal. Son áreas fluviales acumulativas que durante las crecidas quedan cubiertas por el escurrimiento. En la Figura 4.15, se muestra una pequeña barra marginal y en la Figura 4.14, se puede observar su localización.

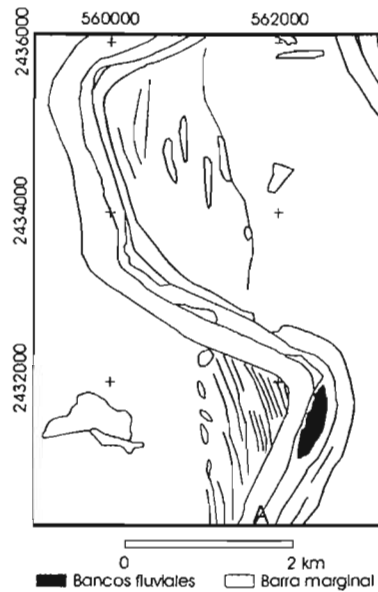


Figura 4.14. Imagen a detalle del área de estudio al Sur de la Laguna Cerro de Pez que muestra los bancos fluviales y las barras marginales. "A" corresponde a la barra marginal de la Figura 4.15.



Figura 4.15. Barra marginal del lecho menor, al Sur de la Laguna Cerro de Pez.

Otra unidad geomorfológica fluvial son las barras de meandro, estas muestran la intensa dinámica fluvial que ha tenido espacialmente el lecho menor, son antiguos

arcos internos de los meandros que han quedado como indicios del desplazamiento, se caracterizan por sus crestas. En la Figura 4.16, se observan las barras de meandro al Este de la laguna Montesillos, las cuales se localizan al interior de los meandros, y son señaladas con líneas, debido a que son muy angostas. En la Figura 4.17, se observan claramente las crestas de las barras de meandro localizadas al Sur de la Laguna Cerro de Pez.

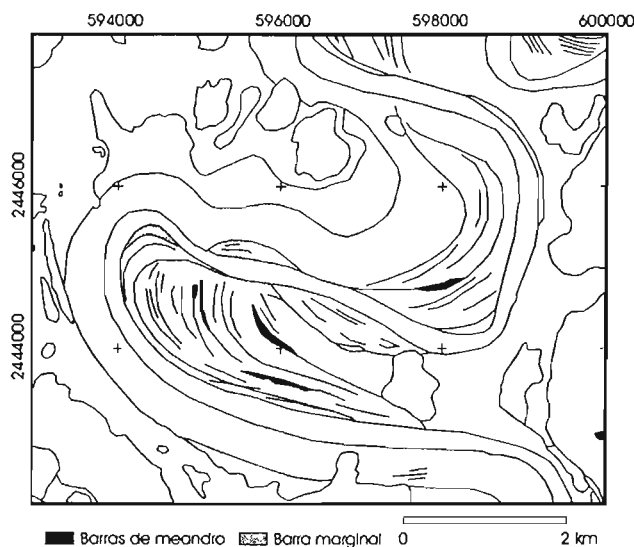


Figura 4.16. Barras de meandro localizadas al Este de la laguna Montesillos.



Figura 4.17. Crestas de las barras de meandro al Sur de la Laguna Cerro de Pez, en el Sitio 23 para la toma de muestras de sedimentos.

Los vertederos de desplazamiento se caracterizan por ser áreas bajas de desbordamiento, se localizan junto al lecho menor o a otros cauces, como es el

caso de la corriente tipo Yazoo. En la Figura 4.18 se observa el vertedero de desplazamiento más extenso en el área de estudio y en el que se localiza el Sitio 25 de colecta de muestras de sedimentos. Los materiales que predominan en él son las arenas con más del 40% del total de la muestra analizada. Esto se debe a que la energía con la que se presenta el escurrimiento desbordado es suficiente para suspender y depositar a mayor distancia del lecho menor materiales gruesos como son las arenas.

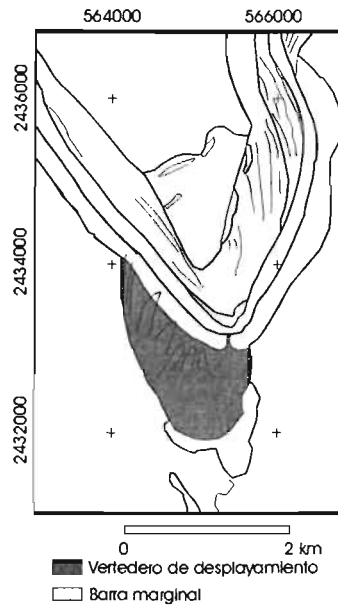


Figura 4.18. Vertedero de desplazamiento en que se logra observar algunas marcas que son muestra de las crecidas.

La planicie costera se divide en dos, la planicie costera fluvio deltaica y la planicie costera acumulativa marina. La primera se localiza en la desembocadura del río Pánuco en el Golfo de México (Figura 4.19). Es una unidad principalmente fluvial acumulativa, y en menor grado es acumulativa por las mareas. En ella, el material que se deposita lo hace en forma de cono, el cual aumenta año tras año su espesor, anchura y longitud con cada crecida. Es una unidad en la que predominan los sedimentos gruesos.

La planicie costera acumulativa marina es la franja de la costa muy angosta, pero que puede tener varios kilómetros de longitud. En el área de estudio se localiza a lo largo de la línea de costa, al Norte y Sur de la desembocadura del río Pánuco (Figura 4.19). Está compuesta principalmente por materiales gruesos.

El sistema de lomeríos se observa principalmente al Norte y Sur del área de estudio, y ocupa el 41.5% del total del área. Se dividió en tres tipos de lomeríos, a partir de su altura relativa, en lomeríos altos, medios y bajos. El origen principal fue el segundo criterio para clasificarlos, en este caso se dividieron en dos tipos, los endógenos y los exógenos, estos últimos pertenecen únicamente a los lomeríos bajos. El origen específico también fue de dos tipos, los estructurales y los eólicos, y por último, la edad fue terciaria y cuaternaria.

A partir de los criterios de clasificación, se obtuvieron cuatro unidades. Los lomeríos bajos eólicos acumulativos se caracterizan por tener una altura inferior a los 20 m y por estar compuestos básicamente de materiales gruesos, como las arenas. En la Figura 4.19, se observa que los lomeríos bajos eólicos acumulativos forman cordones, que siguen trayectos paralelos a la línea de costa.

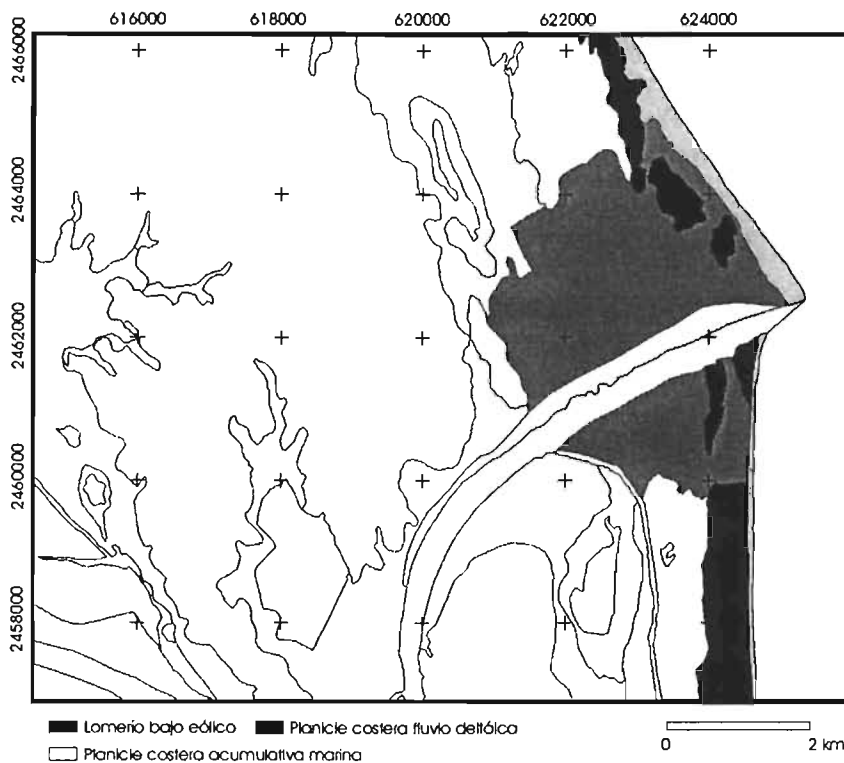


Figura 4.19. Desembocadura del río Pánuco en el Golfo de México.

Los otros tres tipos de lomeríos son los bajos, medios y altos, los cuales son de origen endógeno estructural del Terciario. Los lomeríos bajos son hasta los 20 m de altura relativa, se localizan básicamente al interior de la llanura fluvial (Figura

4.20); los lomeríos medios tienen una altura relativa entre 20 y 50 m, esta unidad es la más extensa, ya que abarca el 30% del total del área en estudio; los lomeríos altos se caracterizan por tener una altura mayor a los 50 m. Estos últimos lomeríos cuentan con un subtipo de relieve, nombrado superficie cumbral, los cuales identifican las áreas más altas de los lomeríos. En la Figura 4.20, se observan los lomeríos, a los cuales se logró diferenciar su superficie cumbral. Estos lomeríos altos son los segundos más altos en toda el área de estudio, con 120 m de altura relativa.

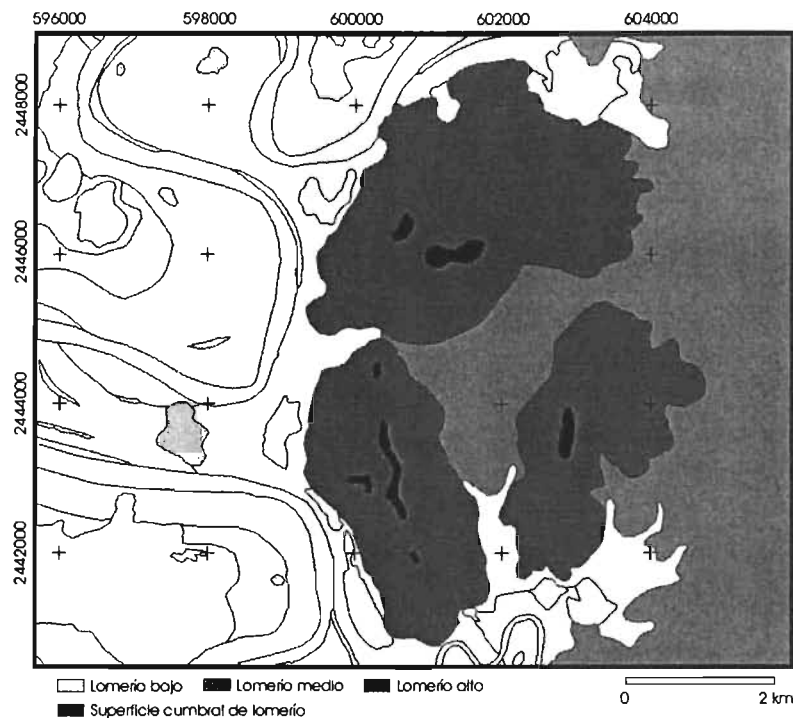


Figura 4.20. Ejemplos de lomeríos endógenos estructurales del Terciario, localizados al Este de la laguna Montesillos.

4.3. Índice de sinuosidad (IS) del curso bajo del río Pánuco

El río Pánuco en su curso bajo tiene un canal único, con un patrón meándrico que divaga sobre una llanura fluvial acumulativa. La pendiente del canal es mínima desde la confluencia de los ríos Moctezuma y Tampaón, apenas registra 0.005 grados. El índice de sinuosidad general desde la misma confluencia es de 1.84, pero fue posible determinar tres diferentes índices en distintas secciones del canal (Figura 4.21), en las que la sinuosidad varía considerablemente.

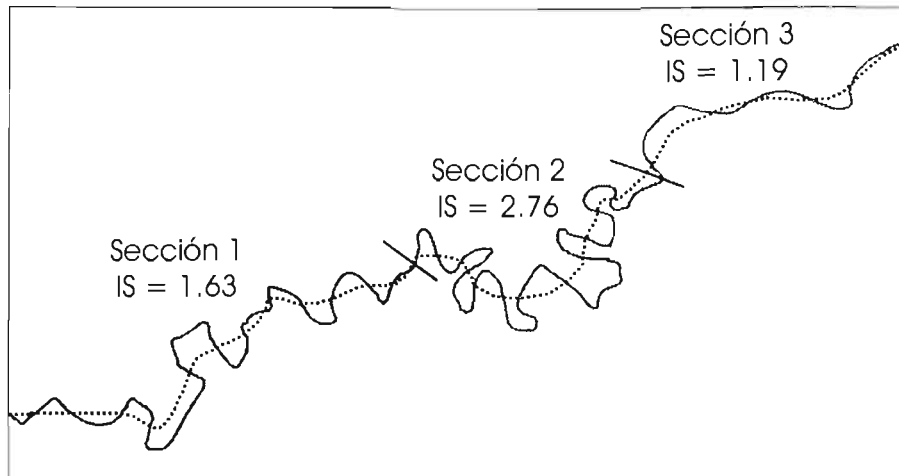


Figura 4.21. Secciones del curso bajo del Río Pánuco con diferentes índices de sinuosidad, la línea continua es el canal y la punteada es el eje del cinturón del meandro.

El índice de sinuosidad (IS) de la primera sección es de 1.63, el cual corresponde a un patrón meándrico, la segunda sección es la que presenta el mayor índice con 2.76, ya que la longitud del canal en esa parte es de 80.275 km y el eje del cinturón del meandro apenas cuenta con 29.051 km. La tercera sección cuenta con el menor IS de las tres secciones, con apenas 1.19, lo que corresponde con un patrón sinuoso. Estos diferentes índices de sinuosidad indican, de alguna manera, que los procesos geomorfológicos fluviales se presentan de diferente forma en cada una de las tres secciones, tanto dentro del canal como en la forma en que se presentan las inundaciones a lo largo de la llanura. Apegándose a lo que dice la teoría, dentro del canal existen diferentes velocidades del flujo, así como de profundidades en la margen externa del meandro. Pero no solo dentro del canal existen esas diferencias, sino también en las diversas unidades geomorfológicas que se encuentran en la llanura fluvial, pero para su explicación se usan las Figuras 4.22, 4.23 y 4.24.

En la primera sección del río Pánuco con un IS de 1.63 (Figura 4.22) los leveés son más angostos, la llanura alta de inundación es la que predomina en las cercanías al canal, en cambio la llanura baja de inundación se encuentra al margen de la llanura fluvial y, en muy pocas partes, se localiza junto al leveé, también en toda esta sección del río es donde se presenta el mayor número de barras marginales, así como de bancos fluviales.

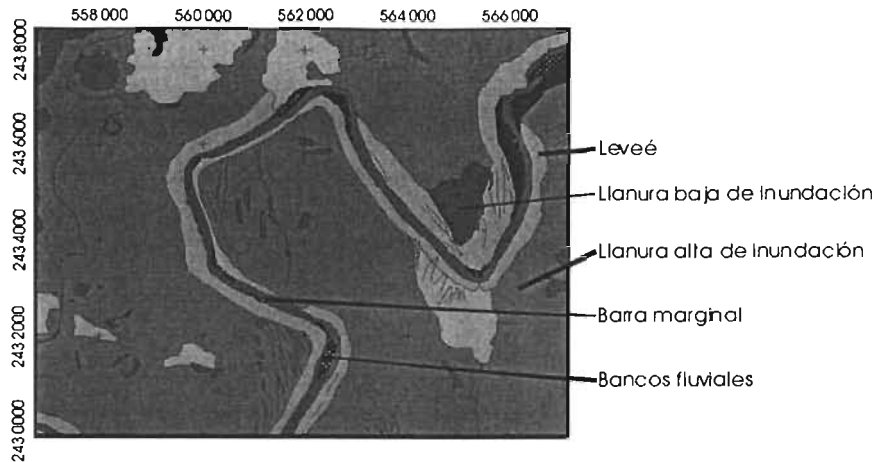


Figura 4.22. Sección 1 del Río Pánuco donde el IS es 1.63.

En la Figura 4.23, se puede observar parte de la segunda sección, donde el canal presenta el mayor IS con 2.72. En esta sección se observa que los leveés son los más amplios que presentan en toda la llanura fluvial, a su vez, la llanura alta de inundación es muy angosta y en muchas partes inexistente, en cambio la llanura baja de inundación es muy amplia, extendiéndose desde el leveé hasta unos 18 km al sur. En otros lugares esta llanura baja se encuentra en contacto con el canal. A diferencia de la primera sección, la presencia de los bancos fluviales y las barras marginales es mínima.

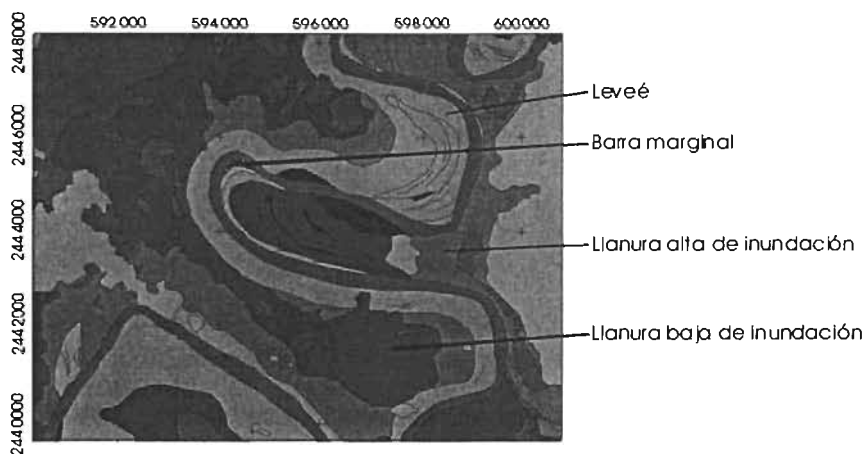


Figura 4.23. Sección 2 del Río Pánuco donde el IS es de 2.72.

Por otra parte, la gran cantidad de marcas lineales al interior de los meandros son barras de meandro (*point bars*) con sus crestas (*scrolls*), lo cual da indicios de la

dinámica fluvial que existe, ya que son resultado del acarreo y depósito de material provocado por el flujo helicoidal y por las intensas inundaciones que se han presentado.

En cambio, en la tercera sección con un IS de 1.19 (Figura 4.24), los leveés se presentan en los primeros ocho kilómetros a los costados del canal, ya que después ya no se presentan, de forma similar las barras marginales y los bancos fluviales no existen en toda esta sección. La llanura alta de inundación es muy angosta y se encuentra paralela al canal, en cambio la llanura baja también es muy estrecha, debido a la presencia de extensos cuerpos de agua.

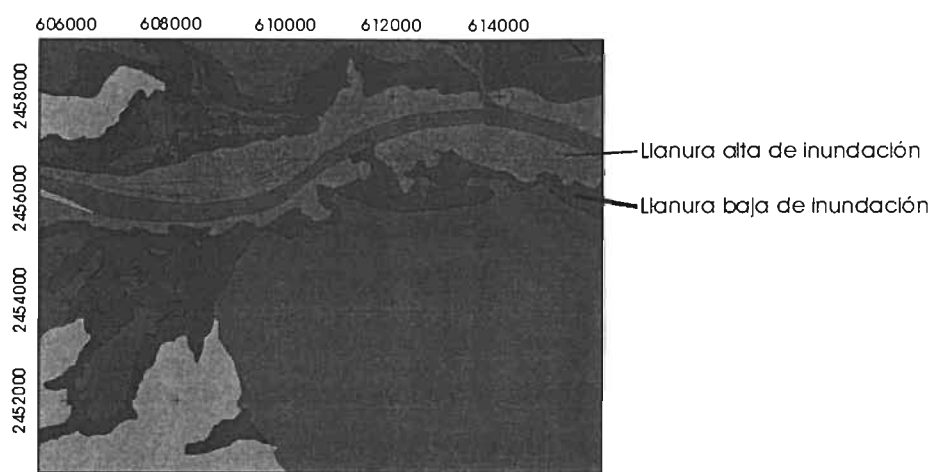


Figura 4.24. Sección 3 del Río Pánuco, donde el IS es de 1.19.

4.4. Distribución textural

La distribución textural de los sedimentos en la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco ayuda en el entendimiento de la dinámica fluvial que se presenta en las inundaciones. Pero debido a que sólo se tenían los datos texturales del mapa edafológico de INEGI (1983), fue necesario realizar un análisis propio.

De las 58 muestras de sedimentos que se analizaron (dos muestras por sitio), 56 fueron por la técnica de texturas de Bouyoucos y dos por tamiz, estos últimos debido a su alto contenido de arenas. En la Tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis textural realizado en laboratorio.

Tabla 4.2. Texturas de las muestras de sedimentos de la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco.

Sitio	Profundidad en cm	% Arcillas	% Limos	% Arenas	Clase textural	Unidad geomorfológica
1	0 - 10	12.4	27.2	60.4	Migajón arenoso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	11.6	13.6	74.8	Migajón arenoso	
2	0 - 10	8.4	35.2	56.4	Migajón arenoso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	14.0	9.2	76.8	Migajón arenoso	
3	0 - 10	10.4	32.0	57.6	Migajón arenoso	Leveé principal
	10 - 20	14.4	34.0	51.6	Migajón o Franco	
4	0 - 10	20.8	49.2	30.0	Migajón o Franco	Llanura alta de inundación
	10 - 20	22.8	43.6	33.6	Migajón o Franco	
5	0 - 10	34.4	41.2	24.4	Migajón arcilloso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	34.8	47.2	18.0	Migajón arcillo limoso	
6	0 - 10	34.8	43.2	22.0	Migajón arcilloso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	34.8	47.2	18.0	Migajón arcillo limoso	
7	0 - 10	56.8	31.2	12.0	Arcilla	Llanura alta de inundación
	10 - 20	60.0	26.8	13.2	Arcilla	
8	0 - 10	14.4	40.4	45.2	Migajón o Franco	Llanura alta de inundación
	10 - 20	20.0	41.6	38.4	Migajón o Franco	
9	0 - 10	32.4	48.4	19.2	Migajón arcillo limoso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	38.0	47.6	14.4	Migajón arcillo limoso	
10	0 - 10	24.4	48.4	27.2	Migajón o Franco	Llanura alta de inundación
	10 - 20	32.0	37.6	30.4	Migajón arcilloso	
11	0 - 10	20.4	52.0	27.6	Migajón limoso	Llanura baja de inundación
	10 - 20	22.0	55.6	22.4	Migajón limoso	
12	0 - 10	42.4	48.4	9.2	Arcilla limosa	Llanura baja de inundación
	10 - 20	46.0	47.6	6.4	Arcilla limosa	
13	0 - 10	12.4	26.4	61.2	Migajón arenoso	Leveé principal
	10 - 20	12.4	25.2	62.4	Migajón arenoso	
14	0 - 10	60.4	37.2	2.4	Arcilla	Leveé principal
	10 - 20	58.8	35.6	5.6	Arcilla	
15	0 - 10	48.8	48.8	2.4	Arcilla limosa	Llanura baja de inundación
	10 - 20	48.0	43.2	8.8	Arcilla limosa	
16	0 - 10	60.8	26.8	12.4	Arcilla	Llanura baja de inundación
	10 - 20	67.2	27.2	5.6	Arcilla	
17	0 - 10	20.4	56.0	23.6	Migajón limoso	Leveé principal
	10 - 20	23.2	70.8	6.0	Migajón limoso	
18	0 - 10	38.0	49.6	12.4	Migajón arcillo limoso	Leveé principal
	10 - 20	36.0	53.2	10.8	Migajón arcillo limoso	
19	0 - 10	57.2	36.8	6.0	Arcilla	Llanura baja de inundación
	10 - 20	55.6	35.2	9.2	Arcilla	
20	0 - 10	12.4	34.0	53.6	Migajón arenoso	Leveé principal
	10 - 20	14.0	35.6	50.4	Migajón o Franco	
21	0 - 10	32.4	46.0	21.6	Migajón arcilloso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	24.0	49.6	26.4	Migajón limoso	
22	0 - 10	6.4	17.2	76.4	Migajón arenoso	Lecho mayor
	10 - 20	10.4	17.2	72.4	Migajón arenoso	

23	0 - 10	22.4	62.4	15.2	Migajón limoso	Leveé principal
	10 - 20	30.0	51.6	18.4	Migajón arcillo limoso	
24 *	0 - 10	2.6		97.4	Arena (Fina)	Leveé principal
	10 - 20	4.1		95.9	Arena (Fina)	
25	0 - 10	26.4	28.4	45.2	Migajón o Franco	Vertedero de displayamiento
	10 - 20	18.0	19.6	62.4	Migajón arenoso	
26	0 - 10	24.4	38.0	37.6	Migajón o Franco	Leveé principal
	10 - 20	14.4	31.2	54.4	Migajón arenoso	
27	0 - 10	52.4	35.2	12.4	Arcilla	Llanura alta de inundación
	10 - 20	69.2	21.2	9.6	Arcilla	
28	0 - 10	50.4	46.0	3.6	Arcilla limosa	Lecho mayor
	10 - 20	39.2	50.8	10.0	Migajón arcillo limoso	
29	0 - 10	18.4	24.0	57.6	Migajón arenoso	Llanura alta de inundación
	10 - 20	21.6	26.0	52.4	Migajón arcillo arenoso	

* Muestras analizadas con tamiz. Con negritas se resaltan los dos valores máximos y mínimos

Los Sitios 1 y 2 corresponden a la clase textural migajón arenosa en sus dos profundidades, los dos sitios se localizan en la llanura alta de inundación, el primero a 8 m del lecho menor y el segundo a 464 m (Figura 4.25). En los dos casos, los porcentajes de arenas que contienen las profundidades de 10 a 20 cm son mayores que en las profundidades de 0 a 10 cm.

Los Sitios 3, 4 y 5 fueron tomados en una misma línea a diferentes distancias del lecho menor (Figura 4.25), el Sitio 3 se localiza a 10 m del lecho menor en el leveé principal, en comparación con los otros dos sitios, éste presenta el mayor porcentaje de arenas y el menor de arcillas en sus dos profundidades. El Sitio 4 se localiza en la llanura alta de inundación a 270 m al Sur del Sitio 3, sus dos muestras en la clase textural son migajón. El Sitio 5 se localiza en la llanura alta de inundación a 220 m al Sur del Sitio 4, a pesar de que sus dos muestras pertenecen a diferentes clases texturales tienen porcentajes parecidos, en comparación con los otros dos sitios, el Sitio 5 es el que tiene mayor porcentaje de arcillas y el menor de arenas. Estos tres sitios localizados a diferentes distancias del lecho menor muestran una graduación en sus texturas, presentándose las más gruesas cerca del lecho menor y entre mayor es la distancia son más finas.

Los Sitios 6 y 7 se localizan en la llanura alta de inundación a 10 y 156 m del lecho menor respectivamente, se encuentran casi al límite con los lomeríos altos del Terciario (Figura 4.25). La clase textural que presenta el Sitio 6 en sus dos profundidades es distinta, en la profundidad de 0 a 10 cm es migajón arcilloso y

migajón arcillo limoso de 10 a 20 cm. En el Sitio 7, sus dos profundidades cuentan con un alto porcentaje de arcillas lo que definió que su clase textural fuese arcillosa. Estos dos sitios presentan la característica de que el sitio más lejano es el que tiene la textura más fina.

Los Sitios 8 y 9 se localizan en la llanura alta de inundación, en la parte interna de un meandro, a 42 y 101 m del lecho menor, respectivamente. Las muestras del Sitio 8 fueron tomadas de las crestas de las barras del meandro y corresponden al migajón o franco de la clase textural, en cambio las dos muestras del Sitio 9 se tomaron de los surcos de las barras del meandro y las dos son migajón arcillo limoso de la clase textural. El Sitio 8 es el más cercano al lecho menor y sus texturas son más gruesas que las del Sitio 9, que se encuentra más lejano.

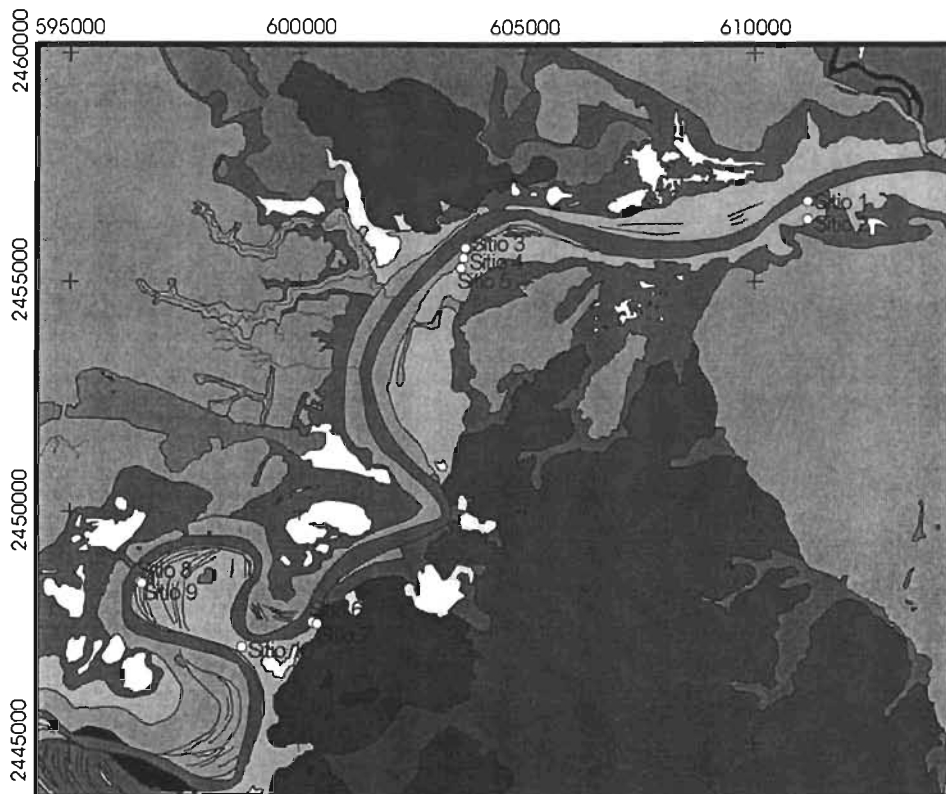


Figura 4.25. Localización de los sitios 1 al 10 del muestreo.

El Sitio 10 se localiza en la llanura alta de inundación en el cuello del meandro (Figura 4.25), es un área en la que puede existir un estrangulamiento, sus dos

muestras pertenecen a diferentes clases texturales, la de 0 a 10 cm es migajón o franco y la de 10 a 20 cm es migajón arcilloso.

Los Sitios 11 y 12 se localizan en la llanura baja de inundación a 6 y 356 m del lecho menor (Figura 4.26), las muestras de sedimentos del Sitio 11 en sus dos profundidades pertenecen a la clase textural Migajón limoso, en cambio las del Sitio 12 son Arcillo limosas. En este caso al comparar los resultados de los dos sitios, se observa que el Sitio 11, el más cercano al lecho menor, contiene un mayor porcentaje de arenas y limos que los que tiene el Sitio 12.

Los Sitios 13 y 14 se localizan en uno de los leveés más amplios de toda el área, a una distancia del lecho menor de 32 y 570 m respectivamente (Figura 4.26), las dos muestras del Sitio 13 son migajón arenoso, ya que en los dos casos cuentan con porcentajes superiores al 60% de arenas. En cambio, el Sitio 14 tiene alrededor del 60% de arcillas, por lo que sus dos muestras pertenecen a la clase textural arcillosa. A pesar de que los dos sitios se localizan en la misma unidad geomorfológica, existen un poco más de 500 m de distancia entre un sitio y el otro, esto influye para que los porcentajes cambien drásticamente de uno a otro, siendo el Sitio 13 el más cercano al lecho menor el que presenta las texturas más gruesas.

El Sitio 15 se localiza en la llanura baja de inundación más amplia de toda el área, se encuentra a 1,946 m de distancia desde el punto más cercano del lecho menor. Sus dos muestras pertenecen a la clase textural arcillo limosa, ya que sus porcentajes de arcilla y limos son muy parecidos. Al comparar las dos profundidades, la muestra de 0 a 10 cm contiene menos porcentaje de arenas que la muestra de 10 a 20 cm.

El Sitio 16 se localiza a 4,270 m de distancia desde el punto más cercano del lecho menor, en una de las depresiones más notables de la llanura baja de inundación. En la clase textural las dos muestras de sedimentos son arcillosas, siendo la de textura más fina la muestra de 10 a 20 cm de profundidad. Los altos porcentajes de arcilla podrían deberse a la gran distancia de la que se encuentra del lecho menor.

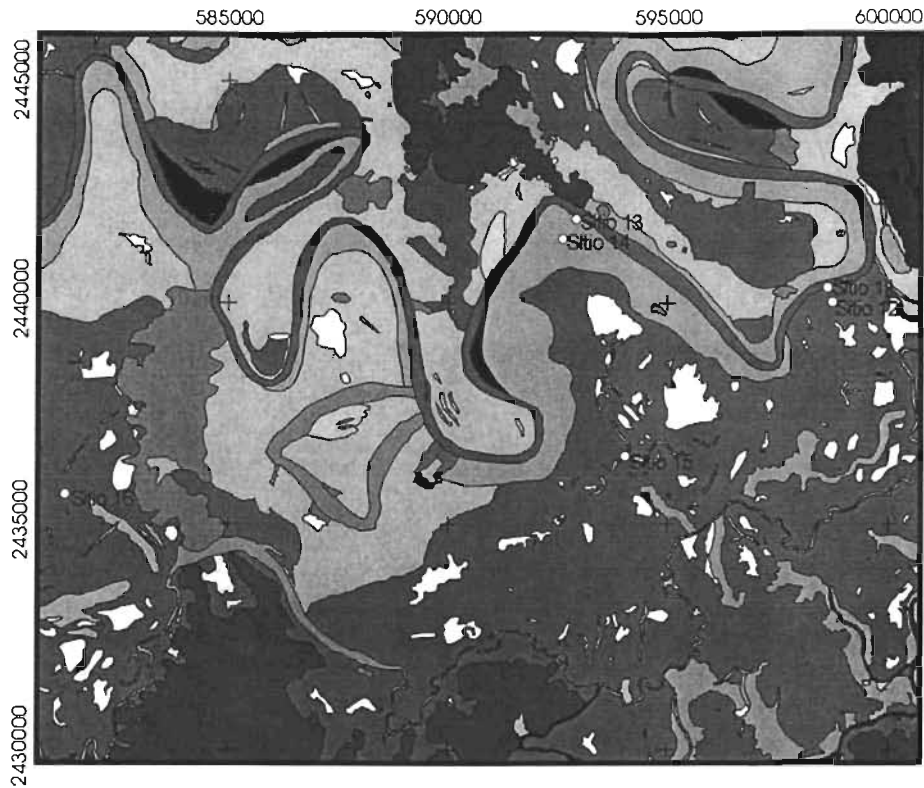


Figura 4.26. Localización de los sitios 11 al 16 del muestreo.

Los Sitios 17, 18 y 19 se localizan en la parte interna de un meandro, los dos primeros en el leveé principal y el tercero en la llanura baja de inundación (Figura 4.27). El Sitio 17 se encuentra a 39 m del lecho menor, sus dos muestras en la clase textural pertenecen al migajón limoso, la muestra de 0 a 10 cm contiene 18% más arenas que la muestra de 10 a 20 cm, lo que indica que en la superficie son más finos los sedimentos. El Sitio 18 se localiza a 431 m al Sur del Sitio 17, sus dos muestras tienen porcentajes muy similares, y en la clase textural son migajón arcilloso limoso. El Sitio 19 se localiza a 1,419 m al Sur del Sitio 18, sus dos muestras contienen un alto porcentaje de arcilla, lo que define que su clase textural sea arcillosa. Al comparar los tres sitios, indican que entre más lejos estén los sedimentos del lecho menor, tendrán un mayor porcentaje de arcillas.

Los Sitios 20 y 21 se localizan en la parte externa de un meandro, el primero en el leveé principal a 20 m de distancia del lecho menor y el segundo en la llanura alta de inundación a 340 m (Figura 4.27). Las dos muestras del Sitio 20 a pesar de tener porcentajes similares pertenecen a diferentes clases texturales, la muestra

de 0 a 10 cm de profundidad es migajón arenosa y la de 10 a 20 cm es migajón o franco. Las dos muestras del Sitio 21 varían aproximadamente un 6% en su contenido de arcillas, y a pesar de ser de una diferencia pequeña pertenecen a diferentes clases texturales, la muestra de 0 a 10 cm es migajón arcillosa y la de 10 a 20 cm es migajón limosa. Al comparar las texturas de los dos sitios indican que las muestras del Sitio 20, que es el más cercano al lecho menor, contienen mayor porcentaje de arenas y menor en las arcillas.

Los Sitios 22 y 23 se localizan en la parte interna del un meandro, el primero a 56 m de distancia del lecho menor y el segundo a 353 m en el leveé principal (Figura 4.8). Las muestras del Sitio 22 están compuestas por un porcentaje mayor del 70% de arenas, esto se debe a que fueron obtenidas del lecho mayor, que es una de las primeras unidades geomorfológicas que son ocupadas por el agua durante las crecidas del río. Las muestras del Sitio 23 pertenecen a diferentes clases texturales, la de 0 a 10 cm es migajón limoso y la de 10 a 20 es migajón arcillo limoso, lo cual indica que la muestra a mayor profundidad es más fina. La gran diferencia entre las texturas de los dos sitios, se debe a la dinámica fluvial que prevalece en las unidades geomorfológicas de las que fueron colectadas.

El Sitio 24 se localiza en la parte externa de un meandro, casi frente a los Sitios 22 y 23, a unos 2 m del lecho menor, en el leveé principal (Figura 4.27). Las dos muestras de sedimentos, por su alto contenido de arenas, sólo fueron procesadas con los tamices. Las dos muestras pertenecen a la clase arenosa, ya que tienen más del 95% de arenas. En la muestra de 0 a 10 cm, el 8% son arenas medias y el 89% son arenas finas, mientras que en la muestra de 10 a 20 cm el 5% son arenas medias y el 91% son finas.

El Sitio 25 se localiza en un vertedero de displayamiento en la parte externa de un meandro, a 939 m de distancia del lecho menor (Figura 4.27). Las dos muestras de sedimentos, presentan diferentes porcentajes texturales, lo que determina que pertenezcan a diferentes clases. La muestra de 0 a 10 cm de profundidad es migajón o franco, mientras que la de 10 a 20 cm es migajón arenosa, lo que indica que los sedimentos más superficiales son más finos que los que se encuentran a

mayor profundidad. Debido a que este sitio se localiza en un vertedero de desplazamiento, las dos muestras contienen un alto porcentaje de arenas.

Los Sitios 26 y 27 se localizan a 5 y 480 m de distancia del lecho menor, el primero se encuentra en el leveé principal, mientras que el segundo en la llanura alta de inundación. Las muestras de sedimentos del Sitio 26 presentan porcentajes muy diferentes, por lo que pertenecen a diferentes clases texturales, la muestra de 0 a 10 cm es migajón o franco, mientras que la de 10 a 20 es migajón arenosa. En cambio, las dos muestras del Sitio 27 pertenecen a la clase textural arcillosa. Al comparar los dos sitios, se observa que presentan las mismas características, en las que el sitio más cercano al lecho menor presenta las texturas más gruesas.

El Sitio 28 se localiza a 10 m del lecho menor, en la llanura alta de inundación, sus dos muestras pertenecen a diferentes clases de textura, siendo la más superficial la que tiene el mayor porcentaje de arcillas. Las dos muestras a pesar de que se encuentran a poca distancia del lecho menor, presentan un bajo porcentaje de arenas.

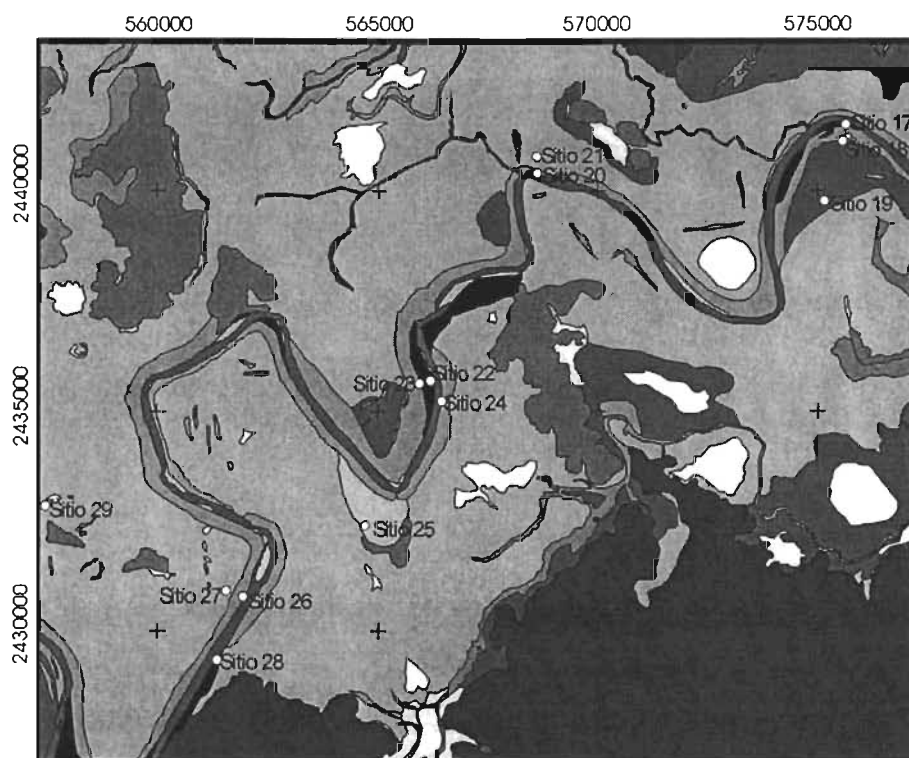


Figura 4.27. Localización de los sitios 17 al 29 del muestreo.

El Sitio 29 se localiza en la llanura alta de inundación, a 2,670 m de distancia del lecho menor, sus dos muestras a pesar de tener porcentajes similares pertenecen a diferentes clases de textura, la muestra de 0 a 10 cm es migajón arenosa, mientras que la de 10 a 20 cm es migajón arcillo arenosa.

4.4.1. Conclusiones de este subcapítulo

Las muestras de sedimentos que fueron tomadas en secciones perpendiculares y a diferentes distancias del lecho menor, presentan un mismo patrón, el sitio que se localiza a menor distancia del lecho menor, contiene un mayor porcentaje de arenas, mientras que los sitios más lejanos presentan un menor porcentaje de arenas y un mayor porcentaje de arcillas. Esto se debe a que las partículas finas como los limos y las arcillas por medio de la suspensión, tienen la posibilidad de desplazarse a mayor distancia durante las crecidas del río Pánuco, mientras que las partículas más gruesas difícilmente sobrepasan los leveés.

Al relacionar los porcentajes de cada una de las muestras de sedimentos con la unidad geomorfológica a la que pertenecen se observó que de las diez muestras sobre la llanura baja de inundación, en seis predominan las arcillas y en las otras cuatro los limos, estas cuatro últimas pertenecen a los Sitios 11 y 12. En unidades como el lecho mayor y el vertedero de displayamiento predominan las arenas en todas las muestras, en cambio en la llanura alta de inundación como en el leveé principal, los porcentajes son variados, predominando en la primera unidad los limos y en la segunda las arenas.

4.5. Identificación de áreas propensas a inundación

La identificación de las áreas propensas a inundación, en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, se hizo a partir de la evaluación geomorfológica fluvial, apoyada en las fotografías aéreas, la carta topográfica y la imagen de satélite, y complementado con el análisis textural y el análisis hidrológico. El mapa geomorfológico fluvial fue el que se tomó como base para la identificación de las áreas propensas a inundación, ya que cada unidad fue reclasificada con base en los criterios mencionados anteriormente.

El resultado final fue el mapa que agrupa a las diferentes áreas inundables a partir de características en común (Figura 4.28). Todas las diferentes áreas propensas a inundación se localizan en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, ya que es donde se concentran los efectos de los desbordamientos. Por lo tanto, ningún área clasificada como lomerío en el mapa geomorfológico fluvial, fue reclasificada como área propensa a inundación por el criterio de la altura relativa, pero hay que recordar que algunos de los lomeríos bajos endógenos estructurales del Terciario que se encuentran al interior de la llanura fluvial, pueden disminuir un poco su área al presentarse inundaciones con gastos muy elevados. Como ocurrió en el año de 1955, en el que el agua que se desbordó cubrió una extensa área de la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco (Carrillo y Ruiz, 2002).

Las áreas propensas a inundación se clasifican en cuatro categorías, las áreas muy propensas a inundación, las áreas medianamente propensas a inundación, las áreas poco propensas a inundación y las áreas sin inundaciones, a continuación se describe cada una de estas áreas.

Las áreas muy propensas a inundación están conformadas por las siguientes unidades geomorfológicas fluviales. La llanura baja de inundación es una área que topográficamente tiene menor altura relativa que las que la rodean, en la mayoría de los casos ocupa áreas en los límites generales de la llanura fluvial o áreas alrededor de los cuerpos de agua permanentes. En las amplias llanuras bajas de inundación, generalmente se presentan una alta densidad y una gran variedad de formas fluviales, las cuales se activan cuando existen elevados gastos. Cuando se realizó la fotointerpretación, se observó que son áreas con una densa vegetación, como los manglares o vegetación halófila. En otras partes, se observó que son áreas sin vegetación, debido que son muy próximas a los grandes cuerpos de agua. En esta unidad también se engloban las depresiones inferiores y las depresiones marginales intermitentes, las cuales se caracterizan por ser las áreas más bajas de toda la llanura fluvial.

Los cauces abandonados inactivos en crecidas, los meandros abandonados, los cauces activos en crecidas y los brazos de crecidas son otras unidades geomorfológicas fluviales que conforman las áreas muy propensas a inundación.

Estas unidades son cubiertas por el agua durante las inundaciones, debido a que topográficamente son bajas. Entre más cerca se encuentran del lecho menor, serán más activas, ya que con una crecida que no provoque un desbordamiento pueden ser cubiertas por el agua.

Los vertederos de displayamiento son áreas que en todas las inundaciones son cubiertas por agua, ya que es la principal área donde se desborda el escurrimiento. Son áreas de mucha energía, ya que en ellas se pueden encontrar huellas de crecidas y también porque los sedimentos que predominan son las arenas finas.

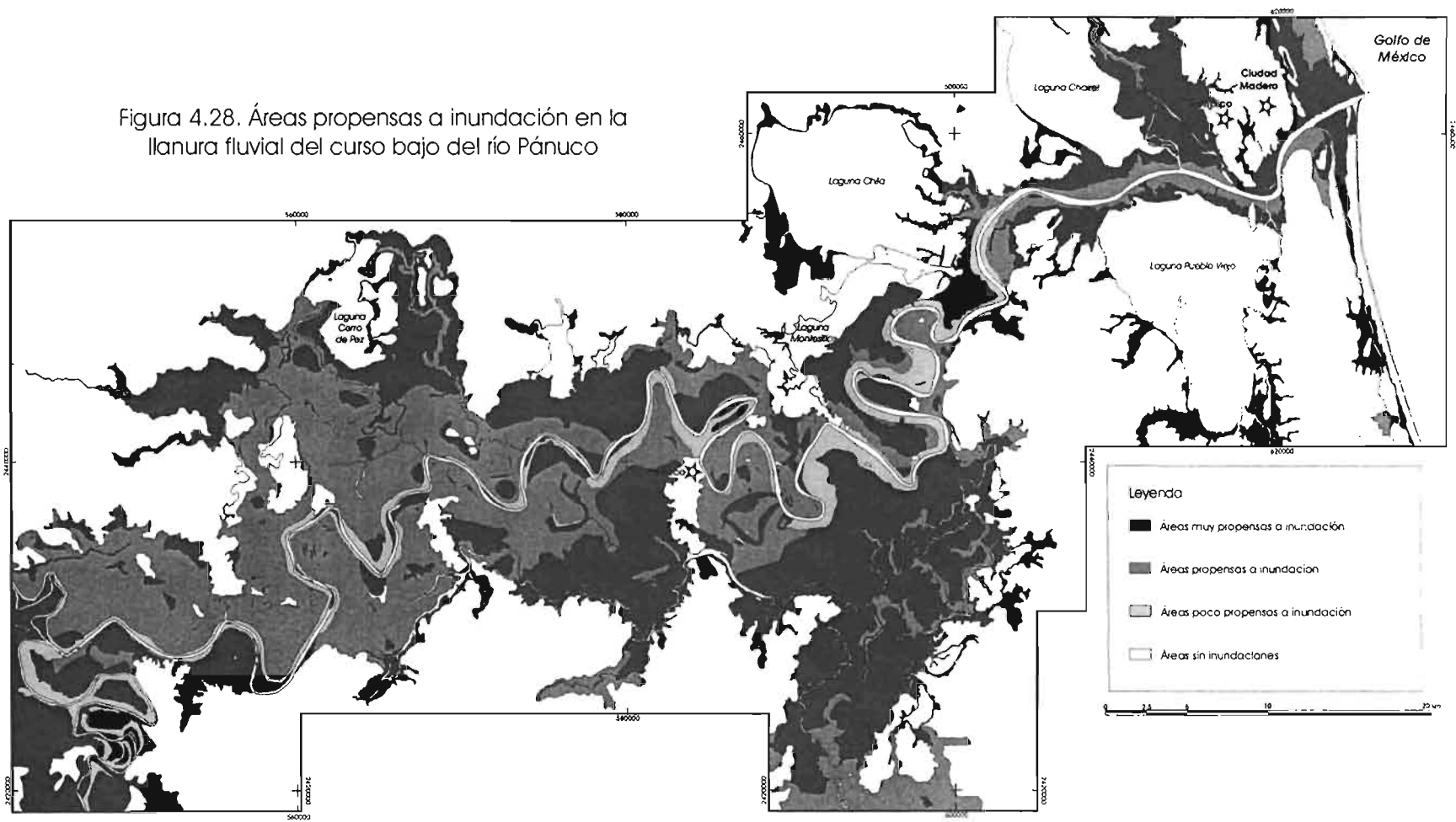
El lecho mayor, los bancos fluviales y las barras marginales son áreas que continuamente son cubiertas por agua, ya que se localizan junto o al interior del lecho menor, generalmente, las pequeñas unidades no tienen vegetación, pero las más grandes sí. Las barras de meandro son áreas deprimidas a las que las rodean, por lo que también fácilmente son cubiertas por agua. Por último, la planicie costera fluvio-deltáica también corresponde a las áreas muy propensas a inundación.

Todas estas unidades geomorfológicas fluviales, que conforman las áreas muy propensas a inundación, en general, son áreas topográficamente más bajas que las que las rodean, pero algunas por el simple hecho de estar junto al lecho menor están sujetas a una alta actividad fluvial, en la cual no es necesario que ocurra un desbordamiento para que sean afectadas.

Las áreas medianamente propensas a inundación son aquellas que topográficamente están un poco más elevadas que las que conforman las áreas muy propensas a inundación. Estas áreas medianamente propensas a inundación están conformadas por dos unidades geomorfológicas fluviales, la llanura alta de inundación y los leveés secundarios. La primera es una de las unidades más amplias del área de estudio, y se caracteriza porque no es afectada por las inundaciones ordinarias. Los leveés secundarios se sitúan a los costados de los cauces secundarios, ya sea al interior o junto a la llanura baja de inundación, de la que sobresale por ser la unidad con mayor altura relativa.

Las áreas poco propensas a inundación están conformadas por las unidades geomorfológicas, el leveé principal y por el leveé abandonado. El primero es una franja que se extiende a un costado del cauce principal y, el segundo, son viejos leveés principales que fueron abandonados en el mismo momento que lo fueron los meandros abandonados. Los dos se caracterizan por ser las unidades geomorfológicas fluviales de mayor altura en toda la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, y es esta característica la que los incluye en las áreas poco propensas a inundación. Estas áreas sólo pueden ser afectadas por las inundaciones que registran los gastos más elevados.

Figura 4.28. Áreas propensas a inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco



CONCLUSIONES

Tomando como referencia las hipótesis de este estudio, se concluye que existe una diferenciación espacial de áreas inundables en la llanura fluvial acumulativa del curso bajo del río Pánuco con base en la evaluación geomorfológica fluvial, apoyada en la carta topográfica, la imagen de satélite, el análisis textural y el análisis hidrológico y meteorológico.

Considerando lo evaluado en cada uno de los años en que ocurrieron las inundaciones, se concluye que las lluvias de origen ciclónico son las principales generadoras de las inundaciones, que han ocurrido en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco, considerando que en sólo cuatro años (1958, 1969, 1975, y 1976) de los once analizados, no se presentaron ciclones próximos a las fechas en que se registraron los máximos gastos anuales.

La influencia de los gastos registrados en la cuenca de Tempoal en las inundaciones que ocurren en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco es evidente, ya que en cinco de los once años en que se presentaron los máximos gastos en las estaciones de Las Adjuntas y Pánuco, el gasto aportado por la cuenca de Tempoal es superior al de la cuenca del río Tampaón, a su vez, en el año 1955, las diferencias de los gastos registrados entre las estaciones de Pujal y Tempoal son mínimas, de tan sólo $52 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto nos indica que a pesar de que la cuenca de Tempoal es cinco veces más pequeña, su localización y sus características físicas como el relieve influyen para que se registren los mayores gastos de la región hidrológica.

Las intensas precipitaciones que se registran en el Suroeste y Oeste de la cuenca de Tempoal influyen considerablemente en los gastos máximos registrados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco, localizadas en el curso bajo del río Pánuco.

Los gastos calculados, aplicando las diferentes distribuciones, para los periodos de retorno de dos años, en las estaciones hidrométricas Las Adjuntas y Pánuco, no son suficientes para originar una gran inundación en el curso bajo del río Pánuco, por ser gastos inferiores a los que se registraron en los once gastos máximos. Con los gastos calculados para los periodos de cinco años, se pueden presentar elevados gastos que generen un desbordamiento en la llanura fluvial del curso bajo del río Pánuco.

Las muestras de sedimentos que fueron tomadas en secciones perpendiculares y a diferentes distancias del lecho menor, presentan un mismo patrón, el sitio que se localiza a menor distancia del lecho menor contiene un mayor porcentaje de arenas, mientras que los sitios más lejanos presentan un menor porcentaje de arenas y un mayor porcentaje de arcillas. Esto se debe a que las partículas finas como los limos y las arcillas, por medio de la suspensión, tienen la posibilidad de llegar a distancias mayores durante las crecidas del río Pánuco, mientras que las partículas más gruesas difícilmente sobrepasan los leveés.

Al relacionar los porcentajes de cada una de las muestras de sedimentos con la unidad geomorfológica a la que pertenecen, se observó que de las diez muestras de sedimentos de la llanura baja de inundación, en seis predominan las arcillas y en las otras cuatro los limos, estas últimas pertenecen a los Sitios 11 y 12. En unidades como el lecho mayor y el vertedero de desplazamiento predominan las arenas en todas las muestras, en cambio en la llanura alta de inundación como en el leveé principal, los porcentajes son variados, predominando en la primera unidad los limos y en la segunda las arenas.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRA (1999). Adventist Development & Relief Agency. Consulta en la página de Internet: www.tagnet.org/adramexico/noticias/110199.html#1, consultada el 10 de abril del 2002.
- Aparicio Mijares, Francisco Javier (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. LIMUSA. México, D.F.
- Benassini, Oscar (1974). El escenario geográfico. "Los recursos hidráulicos de México y su aprovechamiento racional". SEP e INAH. México, D.F.
- Bitrán Bitrán, Daniel (2000). Evaluación del impacto socioeconómico de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana, durante 1999. Cuadernos de investigación, No. 50. CENAPRED. México, D.F.
- Bitrán Bitrán, Daniel (2000). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980–99. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México. CENAPRED. México, D.F.
- Bocco, G., Sánchez, R., Riemann, H. (1993). Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana (enero de 1993). Uso integrado de percepción remota y sistemas de información geográfica. Revista Frontera Norte, No. 10, vol. 5, jul.-dic. 1993. El Colegio de la Frontera Norte. México, Tijuana. pp 53-83.
- Buol, S.W., Hole, F.D. & McCracken, R.J. (1988). Génesis y clasificación de suelos. Ed. Trillas. México, D.F.
- Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54:464-465.
- Bryant, Robert and Gilvear, David (1999), Quantifying geomorphic and riparian land cover changes either side of a large flood event using airborne remote sensing: River Tay, Scotland, Geomorphology, No. 29. Elsevier. pp. 307-321.
- Carmona González, Pilar (1997). "La dinámica fluvial del Turia en la construcción de la ciudad de Valencia", Documents d'Anàlisis Geogràfica, No. 30. Universitat Autònoma de Barcelona. España, Barcelona. pp. 85-102.

- Carrillo Martínez, Miguel y Ruiz González, José (2002), El Huracán Hilda y la inundación de 1955 en Pánuco y Tampico, noreste de México. pp 301-314. En Lugo Hubp, José e Inbar, Moshe (2002). Desastres Naturales en América Latina. FCE. México, D.F.
- CHASQUE (1999). Consulta en la página de Internet: www.chasque.apc.org/chasque/informes/info1999-10-19.htm, consultada el 8 de abril del 2002.
- CNA e IMTA (1997), Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, vol. 4 y 5. México.
- CNA (2002). Comisión Nacional del Agua. Consulta en la página de Internet: www.cna.com consultada el 8 de abril del 2002.
- CNE (2002). Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, Consulta en la página de Internet: www.cne.go.cr/modulos/inundaci.htm, consultada el 10 de abril del 2002.
- Diario de Yucatán (1999). Consulta en la página de Internet: <http://www.yucatan.com.mx/tragedia/pri180.htm>, consultada el 10 de abril del 2002.
- DIRDN GLOBAL (1999), Consulta en la página de Internet: www.crid.or.cr/crid/EIRD/DIRDNINF/No15_99/espanol/pagina4.htm, consultada el 8 de abril del 2002.
- El Universal (1999). Consulta en la página de Internet: www.unam.mx/universal/net1/1999/jul99/22jul99/nacional/41-na-a.html, consultada el 10 de abril del 2002.
- ERIC (1996). Extractor Rápido de Información Climatológica. Instituto Mexicano de tecnología del Agua. México.
- García, Enriqueta (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D.F.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas (2004). Consulta en la página de Internet: www.tamaulipas.gob.mx, consultada el 18 de abril del 2004.
- Golden Software (2002). Surfer versión 8.01, Colorado. USA.
- Guerra Peña, Felipe (1980). Fotogeología. Ed. Facultad de Ingeniería. UNAM. México, D.F. pp. 203-247.

- Hudson, Paul F. And Heitmuller, Franklin T. (2003). Local- and watershed-scale controls on the spatial variability of natural levee deposits in a large fine-grained floodplain: Lower Pánuco Basin, Mexico. *Geomorphology*. No. 56. pp. 255-269.
- INEGI (1979). San Luis Potosí F14-4, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1980a). La Michoacana F14B73, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1980b). Nuevo Tantoan F14B72, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1981a). Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- INEGI (1981b). Guanajuato F14-7, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1981c). Querétaro F14-10, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1981d). Tamiahua F14-9, Uso de suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.
- INEGI (1981e). Tampico F14- 3-6, Uso de suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.
- INEGI (1982a). Tampico F14- 3-6, Carta Geológica. Escala 1:250,000.
- INEGI (1982b). Ciudad Mante F14-5, Carta Edafológica y Uso de suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.
- INEGI (1982c). Tamiahua F14-9, Carta Geológica y Carta Edafológica. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983a). Ciudad Valles F14-8, Carta Geológica, Carta Edafológica y Carta de Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983b). Ciudad Mante F14-5, Carta Geológica y Carta de Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983c). Pachuca F14-11, Carta Geológica, Carta Edafológica y Carta de Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983d). Tamiahua F14-9, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983e). Tampico F14- 3-6, Carta Edafológica y Carta de Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983f). Ciudad de México E14-2, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1983g). Ciudad Victoria F14-2, Aguas Superficiales. Escala 1:250,000.
- INEGI (1984a). Ciudad Valles F14-8, Uso de suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.

- INEGI (1984b). Pachuca F14-11, Uso de suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.
- INEGI (1989). Ébano F14B82, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1991). La Puente F14D13, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1994a). Cuaderno Estadístico Municipal Pánuco, Estado de Veracruz.
INEGI. México, Aguascalientes.
- INEGI (1994b). Cuaderno Estadístico Municipal Pueblo Viejo, Estado de Veracruz.
México, Aguascalientes.
- INEGI (1994c). Cuaderno Estadístico Municipal Ciudad Madero, Estado de Tamaulipas. INEGI. México, Aguascalientes.
- INEGI (1994d). Cuaderno Estadístico Municipal Tampico, Estado de Tamaulipas.
INEGI. México, Aguascalientes..
- INEGI (1995a). El Higo F14D12, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1995b). Pánuco F14B83, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (1996). Cuaderno Estadístico Municipal Ébano, Estado de San Luis Potosí.
INEGI. Aguascalientes. México.
- INEGI (1998). Modelo Digital de Elevación. INEGI. México.
- INEGI (2000a). Tampico Norte F14B74, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI (2000b). Tampico Sur F14B84, Carta Topográfica. Escala 1:50,000.
- ITC (2000). ILWIS 3.0 Academic. User's guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enshede, The Netherland.
- Knighton, David (1998). Fluvial Forms and Processes. Arnold. London. Great Britain. pp. 295-302.
- Lugo Hubp, José (1989). Diccionario Geomorfológico. UNAM. México, D.F.
- Lugo Hubp, José (1990). El Relieve de la República Mexicana. Revista del Instituto de Geología. Vol. 9, num. 1. UNAM. México. D.F. pp. 82-111.
- Lugo Hubp, José (1991). Elementos de Geomorfología Aplicada. UNAM. México, D.F.
- Lugo Hubp, José e Inbar, Moshe (2002). Desastres Naturales en América Latina. FCE. México, D.F.
- Mansilla, Elizabeth (1994). ¿Pánico crónico en el Pánuco?, El verano negro del 93. Desastre y sociedad. Revista semestral de la Red en Estudios Sociales en

- prevención de desastres en América Latina (agosto-diciembre 1994), No. 3, Año 2. México. pp. 107-118.
- Meijerink, Allard M. J. (1988), Data acquisition and data capture through terrain mapping units. ITC, The Netherland.
- Microsoft (2003), Office XP Excel.
- Morisawa, Marie (1985). Rivers. Longman. NY. USA.
- MCD (2000). Movimiento Ciudadano para la Democracia. Consulta en la página de Internet:<http://www.laneta.apc.org/mcd/lluvias/veracruz/index.html>, consultada el 22 de enero del 2002.
- Narro Farías, Eduardo (1994). Física de suelos con enfoque agrícola. Ed. Trillas. México, D.F. pp. 33-38.
- Navarrete Ávila, Said Ludim (2002), Estudio hidrológico y de protección civil de la cuenca baja del río Tuxpan, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- Ortiz Pérez, M. A. (1979). Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del río Grande de Santiago, Nayarit. Boletín del Instituto de Geografía No. 9, UNAM, México. pp. 65-92.
- Ortiz Pérez, M. A., Oropeza Orozco, O., Palacio Aponte, A. G., D'Luna Fuentes, A. (1989). Mapa "Inundaciones", Hoja Zonas susceptibles a desastres por fenómenos naturales. En Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. UNAM, México, p. V.2.9.
- Pedraza Gilsanz, Javier de (1996). Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones, Ed. Rueda. España, Madrid. pp. 199-258.
- Pérez Vega, B. A. (2001). Vulnerabilidad a inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. Tesis de Maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México.
- Romo, M. de Lourdes y Ortiz Pérez, M. A. (2001). Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit. Boletín del Instituto de Geografía No. 45, UNAM. México, D.F. pp. 7-23.
- Ruiz Urbano, Ma. del Rosio (2002). Programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

- Salas Salinas, Marco Antonio (1992). Diagnóstico sobre inundaciones ocurridas en las principales cuencas de la República Mexicana (Regiones Hidrológicas No. 27 y 27). Ed. CENAPRED. México, D.F. pp. 515-557.
- SEMARNAT (2000). Inventario Forestal Nacional Periódico 2000. SEMARNAT, UNAM, Instituto de Geografía.
- SRH (1961). Boletín Hidrológico No. 15. Secretaría de Recursos Hidráulicos. D.F., México.
- Smith, Keith (1996). Environmental Hazard: Assessing Risk and Reducing Disaster. Routledge. London. pp. 256-285.
- Suárez, L. y Regueiro, M. (1997). Guía ciudadana de los riesgos geológicos. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España. España, Madrid. pp.131-149.
- Strahler, Arthur and Strahler, Alan. (1989). Geografía Física. Omega. Tercera Edición. España, Barcelona. pp. 191-207 y 280-297.
- Tinkler, Keith (2000), The case of the missing flood: the unrecorded flood of 1935 on the Jjames River, Manson Country, Texas, Geomorphology. No. 39, Elsevier. pp. 239-250.
- University of Purdue (2004), Consulta en la página de Internet: www.weather.unisys.com.
- Verstappen, Th and Van Zuidam, Robert (1991). El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. ITC, The Netherland.
- Zavala Cruz, Joel (1985), Geomorfología fluvial del curso bajo del río Verde, Oaxaca, Tesis de Licenciatura para obtener el título de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México.

ANEXO A

En esta sección del trabajo se define, desarrolla y se dan los resultados de los métodos estadísticos del cálculo de diseño de las estaciones hidrológicas Las Adjuntas y Pánuco. La definición de todos los métodos estadísticos ha sido tomada de Ruiz (2002). Los gastos anuales tomados para todos los análisis estadísticos corresponden a los gastos máximos anuales de cada estación.

I. Distribución Gamma de dos parámetros.

La función de distribución de probabilidad se define como:

$$F(x) = \int_0^x \left(\frac{x^{\beta-1} e^{\left(\frac{-x}{\alpha}\right)}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \right) dx$$

La función de la densidad de la probabilidad Gamma de dos parámetros es:

$$f(x) = \frac{x^{(\beta-1)} e^{\left(\frac{-x}{\alpha}\right)}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)}$$

donde α y β son los parámetros de escala y forma de la función, y $\Gamma(\beta)$ es la función Gamma. Los parámetros α y β se estiman a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{s^2}{\hat{x}}$$
$$\beta = \left(\frac{\hat{x}}{s} \right)^2$$

donde \hat{x} es la media y la s es la desviación estándar de los datos.

Por último, para obtener los eventos de diseño, la distribución Gamma de dos parámetros puede ser obtenida en forma aproximada utilizando la variable estandarizada z de la distribución normal a través de la siguiente expresión de aproximación:

$$Q_{calc.} = (\alpha)(\beta) \left[1 - \frac{1}{9\beta} + z \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right]^3$$

Desarrollo de la distribución Gamma de dos parámetros en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1955	10800	10800	1	40.00	0.975	2.716	1.960	8271.19	6394897
1956	6201	6692	2	20.00	0.950	2.448	1.645	7329.58	406514
1957	1289	6201	3	13.33	0.925	2.276	1.440	6756.12	308154
1958	6692	6190	4	10.00	0.900	2.146	1.282	6335.77	21249
1959	2222	5820	5	8.00	0.875	2.039	1.150	6000.19	32468
1960	2189	5438	6	6.67	0.850	1.948	1.036	5718.59	78732
1961	3295	5410	7	5.71	0.825	1.867	0.934	5474.41	4148
1962	1735	5233	8	5.00	0.800	1.794	0.841	5257.66	608
1963	4037	5214	9	4.44	0.775	1.727	0.755	5061.86	23147
1964	2038	5147	10	4.00	0.750	1.665	0.674	4882.54	69939
1965	2621	4825	11	3.64	0.725	1.607	0.597	4716.49	11774
1966	5410	4721	12	3.33	0.700	1.552	0.524	4561.32	25498
1967	5233	4700	13	3.08	0.675	1.499	0.453	4415.18	81125
1968	2696	4600	14	2.86	0.650	1.449	0.385	4276.62	104577
1969	4721	4175	15	2.67	0.625	1.401	0.318	4144.48	932
1970	4175	4037	16	2.50	0.600	1.354	0.253	4017.80	369
1971	3375	3930	17	2.35	0.575	1.308	0.189	3895.77	1172
1972	3143	3696	18	2.22	0.550	1.264	0.125	3777.72	6679
1973	3322	3539	19	2.11	0.525	1.220	0.063	3663.06	15390
1974	5820	3375	20	2.00	0.500	1.177	0.000	3551.25	31064
1975	6190	3322	21	1.90	0.475	1.135	-0.063	3441.83	14360
1976	5147	3295	22	1.82	0.450	1.093	-0.125	3334.37	1550
1977	2041	3254	23	1.74	0.425	1.052	-0.188	3228.46	652
1978	5214	3143	24	1.67	0.400	1.011	-0.252	3123.72	372
1979	3696	2927	25	1.60	0.375	0.970	-0.317	3019.75	8603
1980	3254	2925	26	1.54	0.350	0.928	-0.383	2916.19	78
1981	3539	2855	27	1.48	0.325	0.887	-0.450	2812.62	1796
1982	879	2752	28	1.43	0.300	0.845	-0.520	2708.61	1882
1983	2752	2696	29	1.38	0.275	0.802	-0.592	2603.70	8519
1984	4700	2621	30	1.33	0.250	0.759	-0.667	2497.35	15290
1985	2925	2442	31	1.29	0.225	0.714	-0.746	2388.90	2819
1986	1594	2222	32	1.25	0.200	0.668	-0.829	2277.59	3090
1987	2927	2189	33	1.21	0.175	0.620	-0.918	2162.41	707
1988	3930	2041	34	1.18	0.150	0.570	-1.014	2042.01	1
1990	4600	2038	35	1.14	0.125	0.517	-1.121	1914.52	15247
1991	4825	1735	36	1.11	0.100	0.459	-1.241	1777.06	1769
1992	2855	1594	37	1.08	0.075	0.395	-1.382	1624.84	951
1993	5438	1289	38	1.05	0.050	0.320	-1.556	1448.54	25454
1994	2442	879	39	1.03	0.025	0.225	-1.800	1224.21	119168

Resultados de la distribución Gamma de dos parámetros en la estación hidrológica Las Adjuntas.

MEDIA DE Q:	3845.179
DESV. EST.	1865.500
ALFA:	905.053
BETA:	4.249
SUMA DE ERROR	2800.133

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION GAMMA 2P				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	3551
5	0.80	1.79	0.84	5258
10	0.90	2.15	1.28	6336
20	0.95	2.45	1.65	7330
50	0.98	2.80	2.05	8566
100	0.99	3.03	2.33	9463
500	1.00	3.53	2.88	11466
1000	1.00	3.72	3.09	12305
5000	1.00	4.13	3.54	14218
10000	1.00	4.29	3.72	15031

Desarrollo de la distribución Gamma de dos parámetros en la estación hidrológica Pánuco.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1972	2880	7300	1	24.00	0.958	2.521	1.732	5910.46	1930828
1973	3234	5836	2	12.00	0.917	2.229	1.383	5228.25	369650
1974	7300	4236	3	8.00	0.875	2.039	1.150	4803.49	322043
1975	4138	4138	4	6.00	0.833	1.893	0.967	4486.10	121174
1976	3886	3886	5	4.80	0.792	1.771	0.812	4228.03	116982
1977	1968	3619	6	4.00	0.750	1.665	0.674	4007.48	150915
1978	3471	3525	7	3.43	0.708	1.570	0.548	3812.62	82728
1979	3525	3471	8	3.00	0.667	1.482	0.430	3636.27	27314
1980	2753	3445	9	2.67	0.625	1.401	0.318	3473.65	821
1981	3240	3240	10	2.40	0.583	1.323	0.210	3321.41	6628
1982	830	3234	11	2.18	0.542	1.249	0.104	3177.04	3244
1983	2631	3170	12	2.00	0.500	1.177	0.000	3038.58	17271
1984	4236	2906	13	1.85	0.458	1.107	-0.104	2904.39	3
1985	2906	2880	14	1.71	0.417	1.038	-0.209	2773.02	11445
1986	1641	2831	15	1.60	0.375	0.970	-0.317	2643.13	35166
1987	2775	2775	16	1.50	0.333	0.901	-0.428	2513.34	68465
1988	3170	2753	17	1.41	0.292	0.830	-0.544	2382.18	137510
1989	1530	2631	18	1.33	0.250	0.759	-0.667	2247.86	146799
1990	3445	2353	19	1.26	0.208	0.684	-0.800	2108.07	59899
1991	3619	1968	20	1.20	0.167	0.604	-0.949	1959.48	73
1992	2831	1641	21	1.14	0.125	0.517	-1.121	1796.69	24238
1993	5836	1530	22	1.09	0.083	0.417	-1.332	1609.28	6286
1994	2353	830	23	1.04	0.042	0.292	-1.626	1370.44	292189

Resultados de la distribución Gamma de dos parámetros en la estación hidrológica Pánuco.

MEDIA DE Q:	3225.983
DESV. EST.	1359.947
ALFA:	573.300
BETA:	5.627
SUMA DE ERROR	1982.843

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION GAMMA 2P				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	3038
5	0.80	1.79	0.84	4276
10	0.90	2.15	1.28	5040
20	0.95	2.45	1.65	5735
50	0.98	2.80	2.05	6590
100	0.99	3.03	2.33	7206
500	1.00	3.53	2.88	8565
1000	1.00	3.72	3.09	9130
5000	1.00	4.13	3.54	10409
10000	1.00	4.29	3.72	10950

II. Distribución General de valores extremos (Gumbel).

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = \int_0^x e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} dx$$

Entonces, la función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

donde α y β son los parámetros de la función, y se estiman como $\alpha = 0.78$ s y $\beta = x - 0.5772 \alpha$, donde x es la media de la muestra, y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\hat{x} = \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{n}$$

y s es la desviación estándar que se calcula con la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Al despejar x de la primera fórmula, se determinan los gastos a través de la distribución de Gumbel, y se define como:

$$x = Q_{calc} = \beta - \alpha \left[\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Desarrollo de la distribución general de valores extremos (Gumbel) en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	Xi	Q calc.	Error ^ 2
1955	10800	10800	1	40.00	-3.676	8354.57	5980116
1956	6201	6692	2	20.00	-2.970	7327.20	403483
1957	1289	6201	3	13.33	-2.552	6718.02	267311
1958	6692	6190	4	10.00	-2.250	6279.79	8062
1959	2222	5820	5	8.00	-2.013	5935.01	13227
1960	2189	5438	6	6.67	-1.817	5649.14	44581
1961	3295	5410	7	5.71	-1.648	5403.76	39
1962	1735	5233	8	5.00	-1.500	5187.85	2039
1963	4037	5214	9	4.44	-1.367	4994.29	48275
1964	2038	5147	10	4.00	-1.246	4818.20	108111
1965	2621	4825	11	3.64	-1.134	4656.10	28528
1966	5410	4721	12	3.33	-1.031	4505.40	46484
1967	5233	4700	13	3.08	-0.934	4364.12	112816
1968	2696	4600	14	2.86	-0.842	4230.71	136377
1969	4721	4175	15	2.67	-0.755	4103.92	5053
1970	4175	4037	16	2.50	-0.672	3982.72	2946
1971	3375	3930	17	2.35	-0.592	3866.28	4060
1972	3143	3696	18	2.22	-0.514	3753.85	3347
1973	3322	3539	19	2.11	-0.440	3644.82	11197
1974	5820	3375	20	2.00	-0.367	3538.61	26768
1975	6190	3322	21	1.90	-0.295	3434.73	12708
1976	5147	3295	22	1.82	-0.225	3332.71	1422
1977	2041	3254	23	1.74	-0.156	3232.11	479
1978	5214	3143	24	1.67	-0.087	3132.51	110
1979	3696	2927	25	1.60	-0.019	3033.47	11335
1980	3254	2925	26	1.54	0.049	2934.55	91
1981	3539	2855	27	1.48	0.117	2835.30	388
1982	879	2752	28	1.43	0.186	2735.20	282
1983	2752	2696	29	1.38	0.255	2633.66	3886
1984	4700	2621	30	1.33	0.327	2530.02	8278
1985	2925	2442	31	1.29	0.400	2423.43	345
1986	1594	2222	32	1.25	0.476	2312.85	8253

1987	2927	2189	33	1.21	0.556	2196.87	62
1988	3930	2041	34	1.18	0.640	2073.55	1060
1990	4600	2038	35	1.14	0.732	1940.03	9598
1991	4825	1735	36	1.11	0.834	1791.71	3216
1992	2855	1594	37	1.08	0.952	1620.40	697
1993	5438	1289	38	1.05	1.097	1408.79	14350
1994	2442	879	39	1.03	1.305	1105.94	51501

Resultados de la distribución general de valores extremos (Gumbel) en la estación hidrológica Las Adjuntas.

MEDIA DE Q:	3845.179
DESV. EST.	1865.500
ALFA	1455.090
BETA	3005.301
SUMA DE ERROR	2716.778

EVENTOS DE DISEÑO DIST. GUMBEL	
T (años)	Q (m3/s)
2	3539
5	5188
10	6280
20	7327
50	8683
100	9699
500	12047
1000	13056
5000	15398
10000	16407

Desarrollo de la distribución general de valores extremos (Gumbel) en la estación hidrológica Pánuco.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	Xi	Q calc.	Error ^ 2
1972	2880	7300	1	24.00	-3.157	5962.37	1789258
1973	3234	5836	2	12.00	-2.442	5203.78	400000
1974	7300	4236	3	8.00	-2.013	4749.46	263645
1975	4138	4138	4	6.00	-1.702	4419.11	79021
1976	3886	3886	5	4.80	-1.454	4156.14	72977
1977	1968	3619	6	4.00	-1.246	3935.31	100053
1978	3471	3525	7	3.43	-1.065	3743.07	47556
1979	3525	3471	8	3.00	-0.903	3571.28	10056
1980	2753	3445	9	2.67	-0.755	3414.60	924
1981	3240	3240	10	2.40	-0.618	3269.31	859
1982	830	3234	11	2.18	-0.489	3132.66	10270
1983	2631	3170	12	2.00	-0.367	3002.49	28058
1984	4236	2906	13	1.85	-0.248	2877.05	838
1985	2906	2880	14	1.71	-0.133	2754.79	15678
1986	1641	2831	15	1.60	-0.019	2634.25	38575
1987	2775	2775	16	1.50	0.094	2513.95	68147
1988	3170	2753	17	1.41	0.209	2392.27	130124
1989	1530	2631	18	1.33	0.327	2267.23	132327

1990	3445	2353	19	1.26	0.450	2136.17	46935
1991	3619	1968	20	1.20	0.583	1995.08	733
1992	2831	1641	21	1.14	0.732	1837.13	38468
1993	5836	1530	22	1.09	0.910	1648.17	13965
1994	2353	830	23	1.04	1.156	1387.19	310572

Resultados de la distribución general de valores extremos (Gumbel) en la estación hidrológica Pánuco.

MEDIA DE Q:	3225.983
DESV. EST.	1359.947
ALFA	1060.759
BETA	2613.713
SUMA DE ERROR	1897.113

EVENTOS DE DISEÑO DIST. GUMBEL	
T (años)	Q (m3/s)
2	3002
5	4204
10	5000
20	5764
50	6752
100	7493
500	9204
1000	9940
5000	11648
10000	12383

III.- Distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p).

Es una función utilizada cuando los gastos máximos anuales son originados por dos poblaciones (eventos) diferentes, la primera es producida por precipitaciones relacionadas con fenómenos meteorológicos dominantes de la región en estudio, y la segunda por precipitaciones ciclónicas o por deshielos. Se ha demostrado que para estos casos, la función de distribución de probabilidad se puede expresar de la siguiente manera:

$$F(x) = F_1(x)[p + (1-p)F_2(x)]$$

donde $F_1(x)$ es la función de probabilidad de los gastos máximos anuales no producidos por tormentas ciclónicas, $F_2(x)$ las que sí fueron producidas por ciclones, y p es la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto máximo no sea producido por alguna tormenta ciclónica.

El número de parámetros de la función anterior es:

$$n = n_1 + n_2 + 1$$

donde n_1 es igual al número de parámetros de $F_1(x)$, n_2 al número de parámetros de $f_2(x)$ y el parámetro restante es p . El valor de p se obtiene de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{N_n}{N_T}$$

donde N_n es el número de años de registro en que el gasto máximo no se produjo por una tormenta ciclónica y N_T es el número total de años de registro.

$F_1(x)$ y $f_2(x)$ son del tipo Gumbel, por lo que la función de probabilidad queda de la siguiente manera:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \left[p + (p-1)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right]$$

Donde α_1 y β_1 son los parámetros correspondientes a la población no ciclónica y α_2 y β_2 a la que si es ciclónica.

En este caso no es posible determinar una ecuación para el cálculo de gastos máximos debido a que la función de distribución de probabilidad de Gumbel de dos poblaciones es implícita, eso implica que la solución de dicha ecuación debe realizarse a través de algún método para determinar raíces en una función.

Desarrollo de la distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p) en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q) calc.	Q calc.	Error ^ 2
1955	10800	10800	1	40.00	0.975	0.999	0.88123704042	-0.000293	9402.72	1952397
1956	6201	6692	2	20.00	0.950	0.997	0.76823603723	-0.000442	8361.52	2787306
1957	1289	6201	3	13.33	0.925	0.994	0.66196152125	-0.000082	7727.30	2329579
1958	6692	6190	4	10.00	0.900	0.989	0.55678211995	-0.000645	7231.11	1083919
1959	2222	5820	5	8.00	0.875	0.983	0.46136471726	-0.000223	6836.71	1033705
1960	2189	5438	6	6.67	0.850	0.976	0.37178043365	-0.000069	6488.02	1102546
1961	3295	5410	7	5.71	0.825	0.965	0.28813331892	-0.000720	6163.32	567497
1962	1735	5233	8	5.00	0.800	0.953	0.21826449841	-0.000231	5877.93	415936
1963	4037	5214	9	4.44	0.775	0.937	0.15906428848	-0.000017	5610.38	157116
1964	2038	5147	10	4.00	0.750	0.917	0.11166772613	-0.000051	5361.05	45819
1965	2621	4825	11	3.64	0.725	0.894	0.07588185410	-0.000357	5131.11	93701
1966	5410	4721	12	3.33	0.700	0.868	0.05031985279	-0.000926	4921.70	40280
1967	5233	4700	13	3.08	0.675	0.842	0.03384324882	0.000063	4745.19	2042
1968	2696	4600	14	2.86	0.650	0.813	0.02228556239	0.000099	4580.36	386
1969	4721	4175	15	2.67	0.625	0.783	0.01464029897	0.000118	4431.94	66018
1970	4175	4037	16	2.50	0.600	0.753	0.00960822544	0.000111	4297.30	67754
1971	3375	3930	17	2.35	0.575	0.722	0.00630099762	0.000087	4174.14	59603

1972	3143	3696	18	2.22	0.550	0.691	0.00412706696	0.000057	4060.52	132873
1973	3322	3539	19	2.11	0.525	0.660	0.00269716697	0.000032	3954.80	172893
1974	5820	3375	20	2.00	0.500	0.629	0.00175627221	0.000012	3855.62	230996
1975	6190	3322	21	1.90	0.475	0.597	0.00112581170	-0.000596	3759.65	191541
1976	5147	3295	22	1.82	0.450	0.566	0.00072779564	-0.000304	3671.43	141702
1977	2041	3254	23	1.74	0.425	0.534	0.00046531983	-0.000127	3586.34	110452
1978	5214	3143	24	1.67	0.400	0.503	0.00029370229	-0.000040	3503.83	130201
1979	3696	2927	25	1.60	0.375	0.472	0.00018460550	0.000540	3425.18	248180
1980	3254	2925	26	1.54	0.350	0.440	0.00011188517	0.000092	3344.98	176382
1981	3539	2855	27	1.48	0.325	0.409	0.00006692646	0.000001	3267.14	169860
1982	879	2752	28	1.43	0.300	0.377	0.00003918674	0.000030	3190.37	192169
1983	2752	2696	29	1.38	0.275	0.346	0.00002220250	-0.000126	3113.20	174052
1984	4700	2621	30	1.33	0.250	0.314	0.00001198773	-0.000806	3033.97	170545
1985	2925	2442	31	1.29	0.225	0.283	0.00000645457	0.000099	2958.61	266890
1986	1594	2222	32	1.25	0.200	0.252	0.00000325069	0.000389	2879.55	432375
1987	2927	2189	33	1.21	0.175	0.220	0.00000150027	-0.000011	2795.42	367744
1988	3930	2041	34	1.18	0.150	0.189	0.00000064061	-0.000060	2708.26	445232
1990	4600	2038	35	1.14	0.125	0.157	0.00000024129	-0.000255	2614.44	332280
1991	4825	1735	36	1.11	0.100	0.125	0.00000007478	-0.000872	2509.51	599873
1992	2855	1594	37	1.08	0.075	0.094	0.00000001902	-0.000150	2396.00	643198
1993	5438	1289	38	1.05	0.050	0.062	0.00000000281	-0.000516	2251.26	925946
1994	2442	879	39	1.03	0.025	0.031	0.00000000015	-0.000072	2053.35	1379094

Resultados de la distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p) en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Promedio	Desv. est.	Alfa	Beta
6473	1816.203	0.0007059	6472.99959
3167	1149.686	0.0011151	3167.03161

Pob. ciclónica	8
Pob. No ciclónica	31
P inicial	0.8
P ajustada	0.7948718
SUMA DE ERROR	4409.091

EVENTOS DE DISEÑO					
DIST. DOBLEGUMBEL					
T (años)	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q)calc.	Qcalc. (m3/s)
2	0.50	0.62876252	0.001756	1.21146E-05	3856
5	0.80	0.95251007	0.218264	-0.000231	5878
10	0.90	0.98929838	0.556782	-0.000645	7231
20	0.95	0.99695442	0.768236	-0.000442	8362
50	0.98	0.99932128	0.903156	-0.000531	9709
100	0.99	0.99977682	0.950878	-0.000297	10706
500	1.00	0.99997598	0.987791	-0.000528	12705
1000	1.00	0.99998619	0.991383	-0.000781	13202
5000	1.00	0.99999690	0.996643	-0.000492	14541
10000	1.00	0.99999732	0.996943	-0.000530	14673

Desarrollo de la distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p) en la estación hidrológica Pánuco.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q) calc.	Q calc.	Error ^ 2
1972	2880	7300	1	24.00	0.958	0.999	0.811	-0.00048	6857.59	195724
1973	3234	5836	2	12.00	0.917	0.996	0.636	0.00019	5983.80	21774
1974	7300	4236	3	8.00	0.875	0.988	0.472	5.8E-05	5406.42	1369878
1975	4138	4138	4	6.00	0.833	0.976	0.328	-5.4E-05	4955.45	668222
1976	3886	3886	5	4.80	0.792	0.955	0.212	2.4E-05	4578.41	479428
1977	1968	3619	6	4.00	0.750	0.926	0.129	0.00096	4264.83	417102
1978	3471	3525	7	3.43	0.708	0.887	0.075	0.00012	3993.12	219137
1979	3525	3471	8	3.00	0.667	0.842	0.043	9.8E-05	3775.30	92599
1980	2753	3445	9	2.67	0.625	0.794	0.025	0.00077	3598.17	23461
1981	3240	3240	10	2.40	0.583	0.742	0.015	3.3E-05	3443.44	41387
1982	830	3234	11	2.18	0.542	0.691	0.009	0.00053	3313.30	6288
1983	2631	3170	12	2.00	0.500	0.638	0.005	3.4E-05	3194.84	617
1984	4236	2906	13	1.85	0.458	0.585	0.003	0.00015	3088.77	33407
1985	2906	2880	14	1.71	0.417	0.532	0.002	6.6E-05	2989.92	12081
1986	1641	2831	15	1.60	0.375	0.479	0.001	0.00013	2896.84	4381
1987	2775	2775	16	1.50	0.333	0.427	0.001	0.00065	2808.25	1106
1988	3170	2753	17	1.41	0.292	0.373	0.000	0.00035	2719.76	1105
1989	1530	2631	18	1.33	0.250	0.320	0.000	0.00011	2631.53	0
1990	3445	2353	19	1.26	0.208	0.266	9.3E-05	2.2E-05	2541.73	35689
1991	3619	1968	20	1.20	0.167	0.213	4.2E-05	0.00035	2448.28	230667
1992	2831	1641	21	1.14	0.125	0.159	1.6E-05	-0.00057	2342.79	492513
1993	5836	1530	22	1.09	0.083	0.105	4.5E-06	-0.00083	2220.82	477229
1994	2353	830	23	1.04	0.042	0.053	7.0E-07	-0.00016	2059.70	1512403

Resultados de la distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p) en la estación hidrológica Pánuco.

Promedio	Desv. est.	Alfa	Beta
5079	1459.9343	0.0008782	5079.2475
2711	775.3244	0.0016536	2711.1857

Pob. ciclónica	5
Pob. No ciclónica	18
P inicial	1
P ajustada	1
SUMA DE ERROR	2517.181

EVENTOS DE DISEÑO				
DIST. DOBLEGUMBEL				
T (años)	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q)calc.
2	0.50	0.6379849	0.0053424	3.35136E-05
5	0.80	0.9599046	0.2309677	-0.000573124
10	0.90	0.9932281	0.5684904	5.68891E-05
20	0.95	0.9985101	0.7769477	9.26791E-05
50	0.98	0.9997401	0.9050029	-0.000906102
100	0.99	0.999936	0.9536848	-0.000131899
500	1.00	0.9999956	0.9886639	-0.000468721
1000	1.00	0.9999978	0.992047	-0.000731144
5000	1.00	0.9999996	0.9969074	-0.000472676

10000	1.00	0.9999997	0.9971876	-0.000511713
-------	------	-----------	-----------	--------------

IV. Distribución Log-Normal.

En este método los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right)^2}$$

donde α y β son los parámetros de la distribución y son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria.

Los valores de α y β se estiman a partir de n observaciones x_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$, como:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(x_i)}{n}$$

$$\beta = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right)^2} dx$$

Los valores de la función de distribución de probabilidad, se obtienen usando la misma variable estandarizada, que se define para este como:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

Por lo que para calcular los gastos máximos de diseño se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{calc} = \bar{Q} + s_z$$

donde \bar{Q} es la media y s la desviación estándar de los logaritmos de la muestra.

Desarrollo de la distribución Log-Normal en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	LnQ	Q calc.	Error ^ 2
1955	10800	10800	1	40.00	0.975	2.716	1.960	9.287	9086.24	82541601
1956	6201	6692	2	20.00	0.950	2.446	1.645	8.809	7770.53	60350076
1957	1289	6201	3	13.33	0.925	2.276	1.440	8.732	7017.41	49202012
1958	6692	6190	4	10.00	0.900	2.146	1.282	8.731	6487.94	42041493
1959	2222	5820	5	8.00	0.875	2.039	1.150	8.669	6078.67	36889443
1960	2189	5438	6	6.67	0.850	1.948	1.036	8.601	5744.29	32927972
1961	3295	5410	7	5.71	0.825	1.867	0.934	8.596	5460.94	29745423
1962	1735	5233	8	5.00	0.800	1.794	0.841	8.563	5214.49	27107578
1963	4037	5214	9	4.44	0.775	1.727	0.755	8.559	4995.93	24869435
1964	2038	5147	10	4.00	0.750	1.665	0.674	8.546	4799.10	22935486
1965	2621	4825	11	3.64	0.725	1.607	0.597	8.482	4619.66	21239750
1966	5410	4721	12	3.33	0.700	1.552	0.524	8.460	4454.40	19734899
1967	5233	4700	13	3.08	0.675	1.499	0.453	8.455	4300.88	18385918
1968	2696	4600	14	2.86	0.650	1.449	0.385	8.434	4157.22	17166234
1969	4721	4175	15	2.67	0.625	1.401	0.318	8.337	4021.90	16055239
1970	4175	4037	16	2.50	0.600	1.354	0.253	8.303	3893.71	15036650
1971	3375	3930	17	2.35	0.575	1.308	0.189	8.276	3771.65	14097390
1972	3143	3696	18	2.22	0.550	1.264	0.125	8.215	3654.87	13226806
1973	3322	3539	19	2.11	0.525	1.220	0.063	8.172	3542.65	12416105
1974	5820	3375	20	2.00	0.500	1.177	0.000	8.124	3434.37	11657943
1975	6190	3322	21	1.90	0.475	1.135	-0.063	8.108	3329.49	10946120
1976	5147	3295	22	1.82	0.450	1.093	-0.125	8.100	3227.52	10275343
1977	2041	3254	23	1.74	0.425	1.052	-0.188	8.088	3128.00	9641050
1978	5214	3143	24	1.67	0.400	1.011	-0.252	8.053	3030.54	9039268
1979	3696	2927	25	1.60	0.375	0.970	-0.317	7.982	2934.72	8466496
1980	3254	2925	26	1.54	0.350	0.928	-0.383	7.981	2840.18	7919616
1981	3539	2855	27	1.48	0.325	0.887	-0.450	7.957	2746.52	7395811
1982	879	2752	28	1.43	0.300	0.845	-0.520	7.920	2653.36	6892495
1983	2752	2696	29	1.38	0.275	0.802	-0.592	7.900	2560.25	6407249
1984	4700	2621	30	1.33	0.250	0.759	-0.667	7.871	2466.75	5937756
1985	2925	2442	31	1.29	0.225	0.714	-0.746	7.801	2372.31	5481723
1986	1594	2222	32	1.25	0.200	0.668	-0.829	7.706	2276.28	5036793
1987	2927	2189	33	1.21	0.175	0.620	-0.918	7.691	2177.86	4600418
1988	3930	2041	34	1.18	0.150	0.570	-1.014	7.621	2075.98	4169666
1990	4600	2038	35	1.14	0.125	0.517	-1.121	7.620	1969.14	3740886
1991	4825	1735	36	1.11	0.100	0.459	-1.241	7.459	1855.08	3309068
1992	2855	1594	37	1.08	0.075	0.395	-1.382	7.374	1730.05	2866418
1993	5438	1289	38	1.05	0.050	0.320	-1.556	7.162	1586.70	2398466
1994	2442	879	39	1.03	0.025	0.225	-1.800	6.779	1406.02	1868743

Resultados de la distribución Log-Normal en la estación hidrológica Las Adjuntas.

MEDIA DE LnQ:	8.142
DESV. EST. DE LnQ	0.496
SUMA DE ERROR	26153.792

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION LOG-NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	3434
5	0.80	1.79	0.84	5214
10	0.90	2.15	1.28	6488
20	0.95	2.45	1.65	7771
50	0.98	2.80	2.05	9519
100	0.99	3.03	2.33	10898

500	1.00	3.53	2.88	14331
1000	1.00	3.72	3.09	15921
5000	1.00	4.13	3.54	19902
10000	1.00	4.29	3.72	21750

Desarrollo de la distribución Log-Normal en la estación hidrológica Pánuco.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	LnQ	Q calc.	Error ^ 2
1972	2880	7300	1	24.00	0.958	2.521	1.732	8.896	6402.68	40981527
1973	3234	5836	2	12.00	0.917	2.229	1.383	8.672	5480.15	30010149
1974	7300	4236	3	8.00	0.875	2.039	1.150	8.351	4939.67	24370664
1975	4138	4138	4	6.00	0.833	1.893	0.967	8.328	4552.34	20687384
1976	3886	3886	5	4.80	0.792	1.771	0.812	8.265	4247.61	17999745
1977	1968	3619	6	4.00	0.750	1.665	0.674	8.194	3994.33	15906769
1978	3471	3525	7	3.43	0.708	1.570	0.548	8.168	3775.95	14204985
1979	3525	3471	8	3.00	0.667	1.482	0.430	8.152	3582.60	12777776
1980	2753	3445	9	2.67	0.625	1.401	0.318	8.145	3407.89	11552433
1981	3240	3240	10	2.40	0.583	1.323	0.210	8.083	3247.39	10480705
1982	830	3234	11	2.18	0.542	1.249	0.104	8.081	3097.90	9528969
1983	2631	3170	12	2.00	0.500	1.177	0.000	8.061	2956.97	8672842
1984	4236	2906	13	1.85	0.458	1.107	-0.104	7.975	2822.63	7894019
1985	2906	2880	14	1.71	0.417	1.038	-0.209	7.966	2693.24	7178313
1986	1641	2831	15	1.60	0.375	0.970	-0.317	7.948	2567.33	6514371
1987	2775	2775	16	1.50	0.333	0.901	-0.428	7.928	2443.50	5892779
1988	3170	2753	17	1.41	0.292	0.830	-0.544	7.920	2320.34	5305386
1989	1530	2631	18	1.33	0.250	0.759	-0.667	7.875	2196.24	4744710
1990	3445	2353	19	1.26	0.208	0.684	-0.800	7.763	2069.19	4203298
1991	3619	1968	20	1.20	0.167	0.604	-0.949	7.585	1936.46	3672816
1992	2831	1641	21	1.14	0.125	0.517	-1.121	7.403	1793.65	3142298
1993	5836	1530	22	1.09	0.083	0.417	-1.332	7.333	1632.48	2593658
1994	2353	830	23	1.04	0.042	0.292	-1.626	6.721	1431.67	1984343

Resultados de la distribución Log-Normal en la estación hidrológica Pánuco.

MEDIA DE LnQ:	7.992
DESV. EST. DE LnQ	0.446
SUMA DE ERROR	16440.801

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION LOG-NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	2956
5	0.80	1.79	0.84	4303
10	0.90	2.15	1.28	5237
20	0.95	2.45	1.65	6159
50	0.98	2.80	2.05	7392
100	0.99	3.03	2.33	8347
500	1.00	3.53	2.88	10676
1000	1.00	3.72	3.09	11735
5000	1.00	4.13	3.54	14342
10000	1.00	4.29	3.72	15533

V.- Distribución Normal.

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

donde μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x . Los valores de μ son la media y la σ es la desviación estándar de la población.

La función de distribución de probabilidad normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Teniendo como base una tabla de los valores de μ y σ fue posible definir la variable estandarizada

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Normalmente está distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. De este modo, la función de distribución de probabilidad se puede escribir como:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

donde la función $F(z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas. Pero debido a que es una función simétrica, en dichas tablas se encuentran únicamente valores de:

$$\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Otra manera de estimar $F(z)$ es mediante fórmulas aproximadas, como:

$$z = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}$$

donde $C_0=2.515517$, $C_1=0.802853$, $C_2=0.010328$, $d_1=1.432788$, $d_2=0.189269$,
 $d_3=0.001308$

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - P(t))^2}\right)}$$

donde: $P(t) = 1 - (1/T)$

Para calcular los gastos máximos de diseño con el método de distribución normal, se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{calc} = \bar{Q} + s_z$$

Desarrollo de la distribución Normal en la estación hidrológica Las Adjuntas.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1955	10800	10800	1	40.00	0.975	2.716	1.960	7502.25	10875169
1956	6201	6692	2	20.00	0.950	2.448	1.645	6914.27	49404
1957	1289	6201	3	13.33	0.925	2.276	1.440	6531.07	108948
1958	6692	6190	4	10.00	0.900	2.146	1.282	6236.19	2133
1959	2222	5820	5	8.00	0.875	2.039	1.150	5991.26	29330
1960	2189	5438	6	6.67	0.850	1.948	1.036	5778.58	115997
1961	3295	5410	7	5.71	0.825	1.867	0.934	5588.44	31839
1962	1735	5233	8	5.00	0.800	1.794	0.841	5414.86	33072
1963	4037	5214	9	4.44	0.775	1.727	0.755	5253.90	1592
1964	2038	5147	10	4.00	0.750	1.665	0.674	5102.82	1952
1965	2621	4825	11	3.64	0.725	1.607	0.597	4959.57	18110
1966	5410	4721	12	3.33	0.700	1.552	0.524	4822.64	10331
1967	5233	4700	13	3.08	0.675	1.499	0.453	4690.81	85
1968	2696	4600	14	2.86	0.650	1.449	0.385	4563.10	1361
1969	4721	4175	15	2.67	0.625	1.401	0.318	4438.71	69545
1970	4175	4037	16	2.50	0.600	1.354	0.253	4316.96	78377
1971	3375	3930	17	2.35	0.575	1.308	0.189	4197.24	71415
1972	3143	3696	18	2.22	0.550	1.264	0.125	4079.01	146696
1973	3322	3539	19	2.11	0.525	1.220	0.063	3961.79	178749
1974	5820	3375	20	2.00	0.500	1.177	0.000	3845.11	221003
1975	6190	3322	21	1.90	0.475	1.135	-0.063	3728.53	165265
1976	5147	3295	22	1.82	0.450	1.093	-0.125	3611.60	100237
1977	2041	3254	23	1.74	0.425	1.052	-0.188	3493.88	57542
1978	5214	3143	24	1.67	0.400	1.011	-0.252	3374.89	53774
1979	3696	2927	25	1.60	0.375	0.970	-0.317	3254.13	107015
1980	3254	2925	26	1.54	0.350	0.928	-0.383	3131.04	42454
1981	3539	2855	27	1.48	0.325	0.887	-0.450	3005.00	22500
1982	879	2752	28	1.43	0.300	0.845	-0.520	2875.28	15197
1983	2752	2696	29	1.38	0.275	0.802	-0.592	2741.01	2026
1984	4700	2621	30	1.33	0.250	0.759	-0.667	2601.17	393
1985	2925	2442	31	1.29	0.225	0.714	-0.746	2454.42	154
1986	1594	2222	32	1.25	0.200	0.668	-0.829	2299.10	5945
1987	2927	2189	33	1.21	0.175	0.620	-0.918	2132.96	3141
1988	3930	2041	34	1.18	0.150	0.570	-1.014	1952.87	7768

1990	4600	2038	35	1.14	0.125	0.517	-1.121	1754.26	80508
1991	4825	1735	36	1.11	0.100	0.459	-1.241	1529.98	42031
1992	2855	1594	37	1.08	0.075	0.395	-1.382	1267.69	106479
1993	5438	1289	38	1.05	0.050	0.320	-1.556	942.56	120019
1994	2442	879	39	1.03	0.025	0.225	-1.800	488.14	152772

Resultados de la distribución Normal en la estación hidrológica Las Adjuntas.

MEDIA DE Q:	3845.179
DESV. EST.	1865.500
SUMA DE ERROR	3623.580

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	3845
5	0.80	1.79	0.84	5415
10	0.90	2.15	1.28	6236
20	0.95	2.45	1.65	6914
50	0.98	2.80	2.05	7677
100	0.99	3.03	2.33	8186
500	1.00	3.53	2.88	9215
1000	1.00	3.72	3.09	9611
5000	1.00	4.13	3.54	10449
10000	1.00	4.29	3.72	10783

Desarrollo de la distribución Normal en la estación hidrológica Pánuco.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1972	2880	7300	1	24.00	0.958	2.521	1.732	5581.44	2953443
1973	3234	5836	2	12.00	0.917	2.229	1.383	5107.07	531695
1974	7300	4236	3	8.00	0.875	2.039	1.150	4790.47	307440
1975	4138	4138	4	6.00	0.833	1.893	0.967	4541.50	162814
1976	3886	3886	5	4.80	0.792	1.771	0.812	4330.25	197361
1977	1968	3619	6	4.00	0.750	1.665	0.674	4142.80	274365
1978	3471	3525	7	3.43	0.708	1.570	0.548	3971.37	199249
1979	3525	3471	8	3.00	0.667	1.482	0.430	3811.11	115674
1980	2753	3445	9	2.67	0.625	1.401	0.318	3658.67	45654
1981	3240	3240	10	2.40	0.583	1.323	0.210	3511.58	73758
1982	830	3234	11	2.18	0.542	1.249	0.104	3367.89	17928
1983	2631	3170	12	2.00	0.500	1.177	0.000	3225.93	3128
1984	4236	2906	13	1.85	0.458	1.107	-0.104	3084.17	31743
1985	2906	2880	14	1.71	0.417	1.038	-0.209	2941.09	3732
1986	1641	2831	15	1.60	0.375	0.970	-0.317	2795.11	1263
1987	2775	2775	16	1.50	0.333	0.901	-0.428	2644.39	17058
1988	3170	2753	17	1.41	0.292	0.830	-0.544	2486.70	70915
1989	1530	2631	18	1.33	0.250	0.759	-0.667	2319.10	97283
1990	3445	2353	19	1.26	0.208	0.684	-0.800	2137.42	46392
1991	3619	1968	20	1.20	0.167	0.604	-0.949	1935.28	1071
1992	2831	1641	21	1.14	0.125	0.517	-1.121	1701.71	3685
1993	5836	1530	22	1.09	0.083	0.417	-1.332	1414.64	13309
1994	2353	830	23	1.04	0.042	0.292	-1.626	1014.42	34046

Resultados de la distribución Normal en la estación hidrológica Pánuco.

MEDIA DE Q:	3225.983
DESV. EST.	1359.947
SUMA DE ERROR	2281.010

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2	0.50	1.18	0.00	3225
5	0.80	1.79	0.84	4370
10	0.90	2.15	1.28	4969
20	0.95	2.45	1.65	5463
50	0.98	2.80	2.05	6019
100	0.99	3.03	2.33	6390
500	1.00	3.53	2.88	7140
1000	1.00	3.72	3.09	7428
5000	1.00	4.13	3.54	8040
10000	1.00	4.29	3.72	8283

ANEXO B

Procedimiento para la obtención de texturas de las muestras de sedimento recolectadas durante el trabajo de campo.

En un principio las muestras se someten a un pretratamiento, en el que se dejan secar por completo, posteriormente las muestras son molidas hasta que pasan por el tamiz de 2 mm. Posteriormente se pesaron 60 gr de suelo en un vaso de precipitados de 500 ml, se pesaba esta cantidad ya que se podrían perder sedimentos por saltación cuando estuvieran reaccionando en el baño María. A cada uno de los vasos se le agregaron dos veces 25 ml de peróxido de hidrógeno al 8% y se mezclaban con un agitador de vidrio, si la muestra tenía una gran cantidad de materia orgánica se le podía agregar otros 5 ml de peróxido, y se colocaban en el baño María con el fin de acelerar la reacción del peróxido. Posteriormente las muestras al ya no tener residuos de peróxido se secaron totalmente en el baño María. Se pesaron 50 gr de sedimentos secos y se colocaron en el frasco de la batidora. A los cuales se les agregó agua y 5 ml de oxalato de sodio y también de metasilicato de sodio, esto con el fin de mantener todas las partículas separadas. Luego las muestras se agitaron por diez minutos si eran suelos arenosos o limosos, pero si eran arcillosos se agitaban por 15 minutos, para posteriormente colocarlas en las probetas que se aforaron hasta los 1000 ml. Ya dentro de las probetas de 1000 ml, las muestras se agitaron por un minuto, con el fin de que quedaran lo más homogéneas posibles. Se dejaban reposar por 40 segundos y se tomaba la primera lectura con el hidrómetro y el termómetro y después de dos horas se tomaba la segunda medida. Después de tomar las dos lecturas se hicieron los cálculos respectivos, con las siguientes ecuaciones.

$$1.- \% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas} = \text{Primera lectura (100)} / \text{gr de suelo}$$

$$2.- \% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas})$$

$$3.- \% \text{ de arcillas} = \text{Segunda lectura (100)} / \text{gr de suelo}$$

$$4.- \% \text{ de limo} = (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas}) - (\% \text{ de arcillas})$$

Nota: Se le agregaron 0.2 a la lectura de temperatura por cada grado después de los 20°C o restarlo en el caso contrario.

Tabla B.1. Material y reactivos utilizados en análisis de las muestras de sedimentos.

Mortero	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) al 8%
Agitadores de vidrio	Metasilicato de sodio al 5%
Balanza granataria o analítica	Oxalato de sodio al 5%
Frascos de precipitados de 500 ml.	
Baño María o platina caliente	
Batidora OSTER para textura	
Hidrómetro de Bouyoucos	
Termómetro	
Pipetas graduadas (2 de 10)	
Probetas de 1000 ml.	

ANEXO C

A continuación, se describe el desarrollo de eventos de cada uno de los once años que registraron gastos muy elevados en las estaciones hidrométricas de Las Adjuntas y Pánuco. En la siguiente descripción se toman en cuenta los gastos registrados en las estaciones hidrométricas que se localizan dentro de la cuenca Tempoal, así como la estación Pujal en el río Tampaón, esto con el fin de entender su influencia en las inundaciones que ocurrieron en el curso bajo del río Pánuco.

Septiembre – Octubre de 1955

En 1955, la inundación fue provocada por tres ciclones consecutivos que se presentaron en el mes de septiembre y principios de octubre. El ciclón Gladys (Figura C.1) fue el primero de los tres ciclones, este ciclón se originó el primero de septiembre en las coordenadas 19°25´ de Latitud Norte y 94°35´ de Longitud Oeste, al Norte de la ciudad de Coatzacoalcos. La trayectoria general fue hacia el NW, pero el día 5 de septiembre cambió de dirección hacia el Sur. El día 6 se internó a tierra en el área de la laguna de Tamiahua, fue dejando una estela de lluvia en todo el litoral del Golfo de México, su fin llegó el día 8 de septiembre.

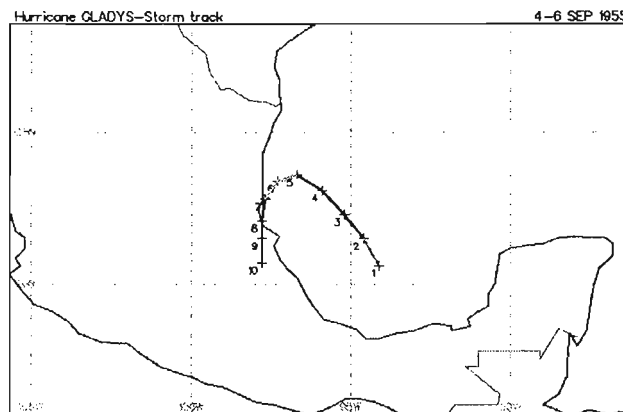


Figura C.1. Trayectoria del ciclón Gladys, del 4 al 6 de septiembre de 1955 (University of Purdue, 2004).

La precipitación más abundante se registró en la parte alta de la cuenca de Tempoal (Figura C.2), alcanzando valores superiores a los 800 mm en tan solo

siete días, lo cual representa un 58.2% de lo que llueve anualmente en la estación climatológica Zacualtipán y un 35% en la estación de Tlachinol.

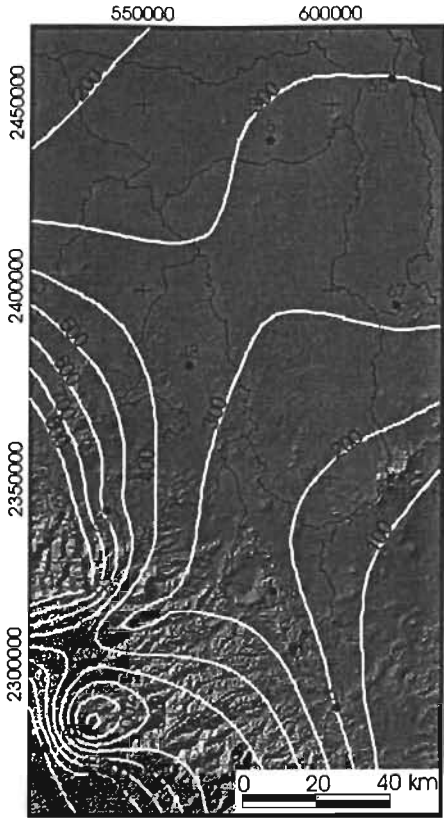


Figura C.2. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del ciclón Gladis, del 1 al 7 de septiembre de 1955 (SRH, 1961).

El segundo ciclón y el más fuerte de los tres fue Hilda (Figura C.3), se originó el día 10 de septiembre como depresión tropical al Norte de República Dominicana y su trayectoria general fue al Oeste. El día 12 pasó a ser huracán de categoría uno, el día 16 atravesó la península de Yucatán, y este mismo día pasó a la categoría de huracán tres. El día 19 su fuerza disminuyó al grado de tormenta tropical y entró por segunda vez a tierra, a la altura de la región de Pánuco, en donde descargó fuertes lluvias que fueron la principal causa de las inundaciones. Finalmente el día 20 se diluyó en la Sierra Madre Oriental. Los efectos del huracán Hilda se presentaron con mayor fuerza, entre los días 18 y 21 de septiembre. En el mapa de precipitación (Figura C.4) se observa que los valores son muy bajos, a pesar de que fue un ciclón que realmente causó estragos en la región (Carrillo y

Ruiz, 2002). En esta ocasión, los valores máximos de precipitación en esta área se registraron en la cuenca del Tampaón, con 341 mm en los cuatro días, lo que representa el 26% de lo que llueve anualmente.

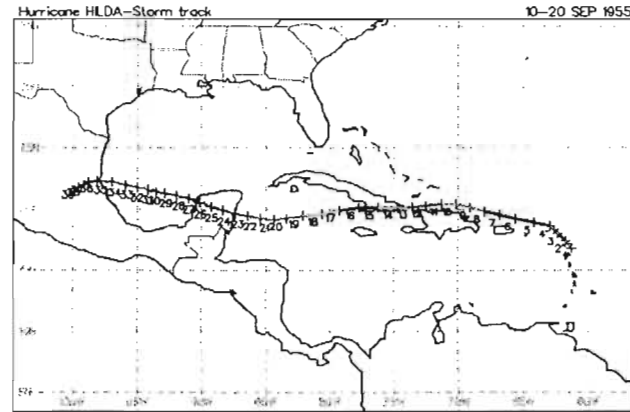


Figura C.3. Trayectoria del ciclón Hilda, 10 al 20 de septiembre de 1955 (University of Purdue, 2004).

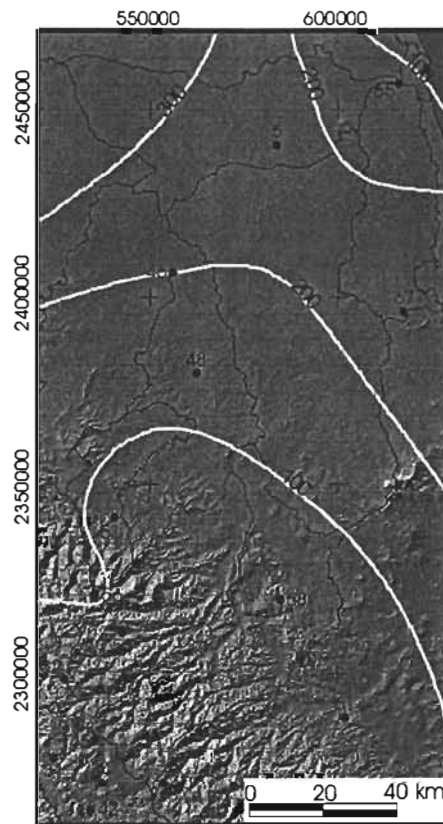


Figura C.4. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del ciclón Hilda, del 18 al 21 de septiembre de 1955 (SRH, 1961).

El tercer ciclón fue Jannet (Figura C.5), se formó el 22 de septiembre a 400 km al Este de las islas de Barbados. Cinco días después llegó a la península de Yucatán, causando graves daños a la ciudad de Chetumal (Carrillo y Ruiz, 1998-2002). Después de atravesar la península, el día 28 penetró en el Golfo de México y un día después llegó a las costas veracruzanas, donde perdió fuerza gradualmente hasta impactar a la Sierra Madre Oriental.

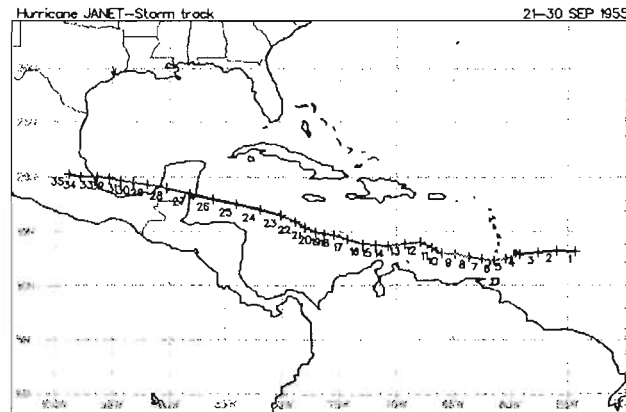


Figura C.5. Trayectoria del ciclón Jannet, del 21 al 30 de septiembre de 1955 (University of Purdue, 2004).

La precipitación generada por Jannet fue intensa en el límite Suroeste de la cuenca del río Tempoal (Figura C.6), registrándose valores desde 400 mm hasta los 700 mm en tan sólo cinco días.

El río Tempoal (estación hidrométrica Tempoal), registró su primer pico el día 4 de septiembre de 1955 con una escala de 19.68 m y un gasto de 4,000 m³/s, pero el día 28 comenzó a subir y para el día 30 alcanzó su máximo a las 13:00 hr, con una escala de 24.52 m y un gasto de 6,000 m³/s (Figura C.7).

El río Tampaón (estación hidrométrica Pujal), se mantuvo con gastos alrededor de 1,000 m³/s hasta el día 11 que alcanzó un primer pico de 2,600 m³/s, posteriormente el día 20 registró un gasto de 4,800 m³/s y para el día 30 a las 21:00 hrs alcanzó su máximo con una escala de 16.14 m, correspondiente a 6,052 m³/s (dentro de la sección de aforos), pero el río se desbordó sobre la carretera con 2,000 m³/s aproximadamente, por lo que la suma total de la crecida fue de más o menos 8,000 m³/s (Figura C.8).

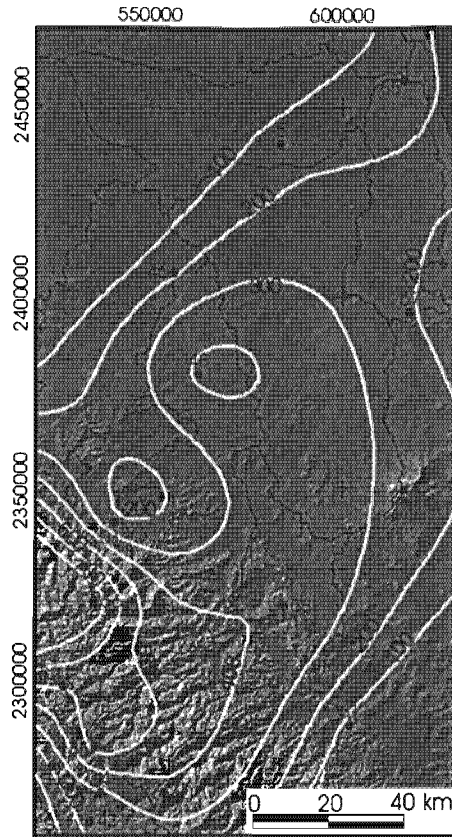


Figura C.6. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del ciclón Jannet, del 27 de septiembre al 1 de octubre de 1955 (SRH, 1961).

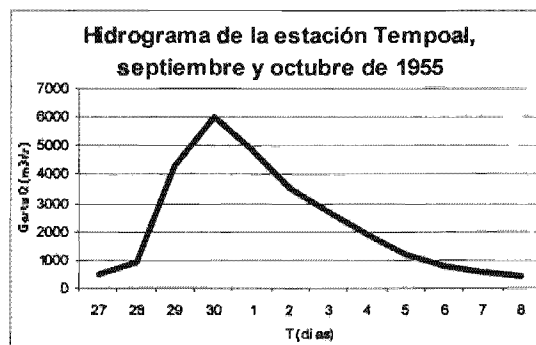


Figura C.7. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Tempoal, del 27 de septiembre al 8 de octubre de 1955 (CNA e IMTA, 1997).

El río Pánuco (estación hidrométrica Pánuco), en ese año sólo registraba lecturas de escala, ya que no disponía de aforos, el gasto máximo fue calculado en 10,800 m³/s, el día 3 de octubre. Al revisar los registros se observó que éste es el gasto más alto que se ha presentado en esta estación.

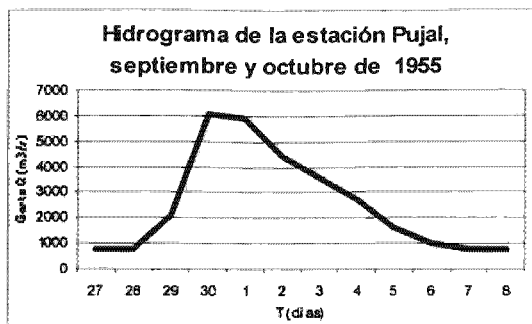


Figura C.8. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 27 de septiembre al 8 de octubre de 1955 (CNA e IMTA, 1997).

Septiembre de 1956

En el año de 1956 se presentaron varias perturbaciones atmosféricas, pero sólo la tormenta tropical Dora (Figura C.9) contribuyó en las precipitaciones que generaron el máximo gasto del año. Esta tormenta se originó en el Golfo de México, al Oeste de la ciudad de Campeche el 10 de septiembre, su trayectoria general fue al Oeste, y al tocar costas veracruzanas llegó a su fin tan sólo dos días después de su formación.

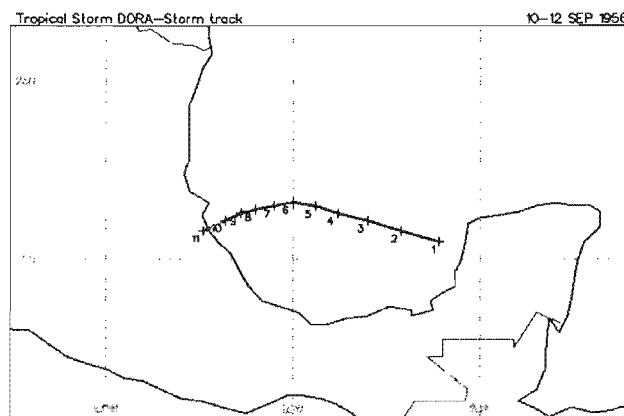


Figura C.9. Trayectoria del ciclón Dora, 10 al 12 de septiembre de 1956 (University of Purdue, 2004).

Por falta de datos climatológicos no fue posible la realización del mapa de distribución de la precipitación acumulada durante la primera quincena de septiembre, pero en dos de las cinco estaciones que registraron la precipitación ese año fueron Tlachinol y Canali, ubicadas en la subcuenca de los Hules, de la

cuenca Tempoal, estas estaciones registraron 965 y 371 mm respectivamente en tan sólo 16 días, lo que equivale al 42 y 28% de lo que llueve anualmente.

En el río Tempoal (estación Tempoal), los gastos generados por el ciclón Dora alcanzaron su máximo anual el día 14 de septiembre con 4,424 m³/s, en la Figura C.10, se puede observar el creciente gasto desde el día 9 de septiembre.

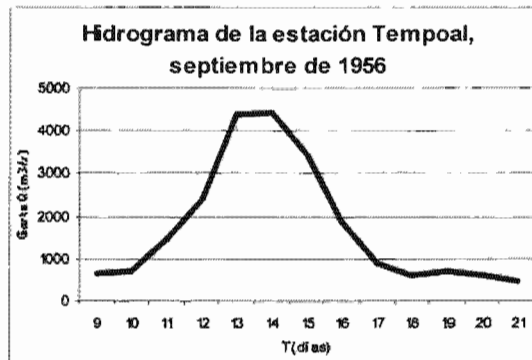


Figura C.10. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Tempoal, del 9 al 21 de septiembre 1956 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación Pujal), se registraron 462 m³/s el día 10 de septiembre, posteriormente el caudal comenzó a aumentar y en tan sólo cuatro días después alcanzó su máximo gasto anual de 2,383 m³/s (Figura C.11).

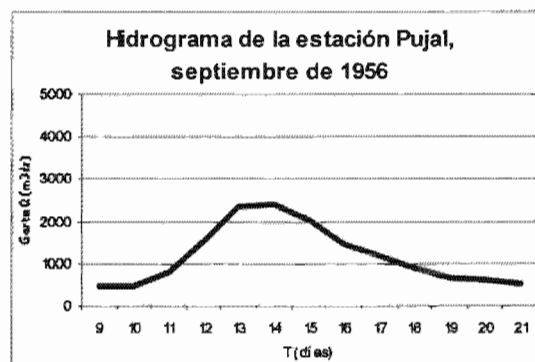


Figura C.11. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 9 al 21 de septiembre 1956 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), el gasto máximo anual se registró el día quince de septiembre a las 2 hr con 6,201 m³/s y una lectura de escala de 17.03

m. En todos los años de registró sólo tres veces el gasto de la estación hidrométrica ha sido superior a los 6,000 m³/s, por lo que es un año que también tuvo que haber sido considerado en los textos hechos por Mansilla (1994) y Salas (1992) como uno de los años con inundación.

Octubre de 1958

En el año 1958, no se presentó ningún ciclón que tuviera relación directa con inundaciones, pero fue un año que se caracterizó por la abundancia de sus lluvias en todo el país (Salas, 1992). Las mayores crecientes se presentaron en los meses de julio y octubre, siendo en este mes cuando se presentó el máximo gasto de todo el año. Pero por la falta de datos de precipitación, en la gran mayoría de las estaciones climatológicas del área, no fue posible la realización del mapa que mostrara la distribución espacial de la precipitación en este evento.

Lo que llovió en las cuencas de Moctezuma (considerando la cuenca de Tempoal) fue la principal causa de las inundaciones que se registraron en el curso bajo del río Pánuco. Las crecientes generadas en los diferentes ríos, se describen a continuación.

En el río Tempoal (estación hidrométrica Tempoal), desde principios del mes hasta el día 13, el río aumentó diez veces su caudal normal en temporada de secas, hasta alcanzar un valor de 1,550 m³/s, pero el gasto máximo se registró el día 14, con un valor de 4,100 m³/s, y una lectura de escala de 20.12 m (Figura C.12).

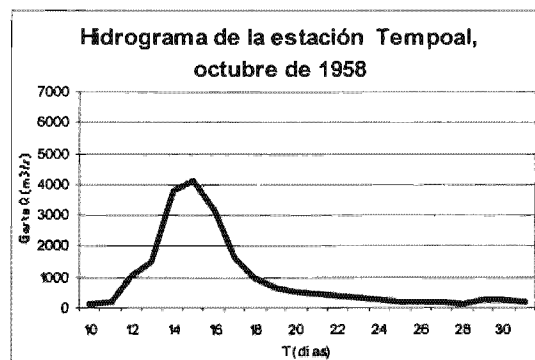


Figura C.12. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Tempoal, del 10 al 31 de octubre de 1958 (CNA e IMTA, 1997).

El río Tampaón (estación hidrométrica Pujal), registró gastos superiores a los $700\text{m}^3/\text{s}$ a principios del mes de octubre para disminuir el día 8 a valores inferiores a los $400\text{m}^3/\text{s}$, pero después de registrarse intensas precipitaciones, su gasto comenzó a aumentar de nueva cuenta hasta seis veces su caudal en tan sólo siete días, registrándose su máximo el 15 de octubre con $2,565\text{m}^3/\text{s}$ (Figura C.13).

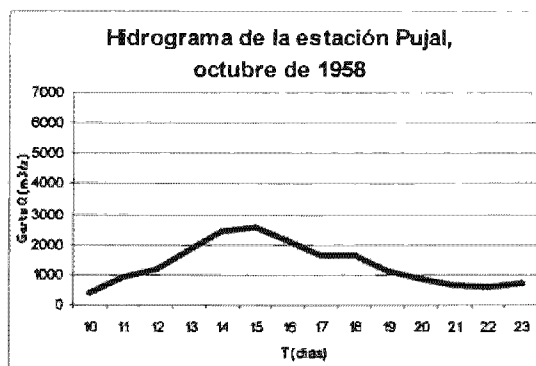


Figura C.13. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 10 al 23 de octubre de 1958 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación hidrométrica Las Adjuntas), se registraron gastos durante los días 10 y 11 de septiembre, que estaban alrededor de los $800\text{m}^3/\text{s}$, pero un día después comenzaron a incrementarse hasta que en el día 17 se registró su máximo anual, con una lectura de escala de 17.38 m y un gasto de $6,692\text{m}^3/\text{s}$, a partir de ese gasto el caudal disminuyó hasta normalizarse de nuevo (Figura C.14).

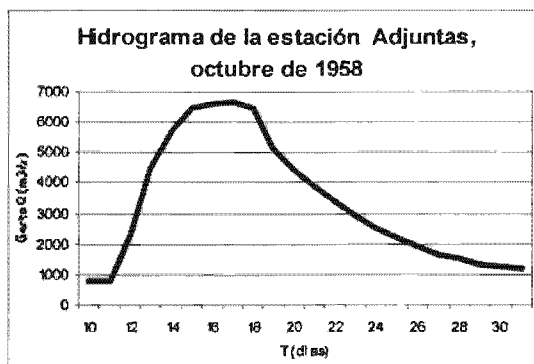


Figura C.14. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Las Adjuntas, del 10 al 31 de octubre de 1958 (CNA e IMTA, 1997).

Junio de 1966

En el año 1966, las precipitaciones que se registraron tuvieron que ver con dos ciclones, que se presentaron en el mes de junio, sin embargo, ninguno de los dos tuvo un trayecto cercano al área del río Pánuco, uno se presentó en el Océano Pacífico y el otro apenas tocó al Golfo de México.

El primero de los dos ciclones fue Alma (Figura C.15), se originó el día 4 de junio como depresión tropical sobre el territorio de Nicaragua, su trayectoria en lo general fue hacia el Norte, cuando entró al océano sus fuerzas aumentaron tanto que llegó a ser un huracán de tercera categoría. Posteriormente atravesó la península de Florida, donde perdió fuerza hasta desaparecer en las costas estadounidenses.

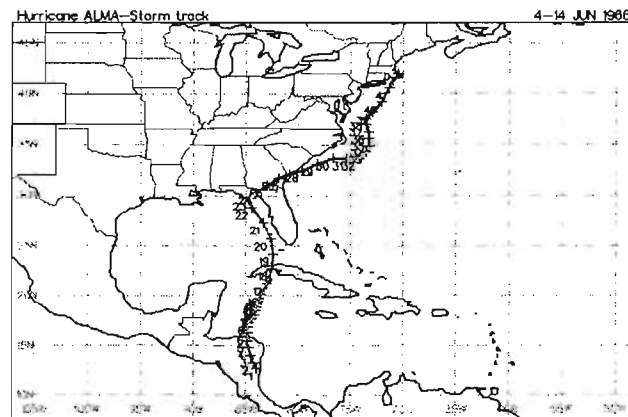


Figura C.15. Trayectoria del ciclón Alma, del 4 al 14 de junio de 1966 (University of Purdue, 2004).

El otro ciclón que se presentó fue Adele (Figura C.16), se originó el 20 de junio en el océano Pacífico, aproximadamente a los 14°00' de Latitud Norte y 100°00' de Longitud Oeste. Fue un ciclón que duró tan sólo cuatro días antes de tocar tierra y perder su fuerza. La precipitación que generó influyó en la crecida registrada en el curso bajo del río Pánuco.

La distribución de la precipitación que generó la gran crecida de este año, se observa en la Figura C.17, en donde el registro más alto se presentó en el límite Este de la cuenca de Tempoal, con valores acumulados de 600 mm en tan sólo

diez días, en la estación climatológica Platón Sánchez se registraron 509 mm, lo que representó el 42.73% de lo que llueve anualmente en esa estación.

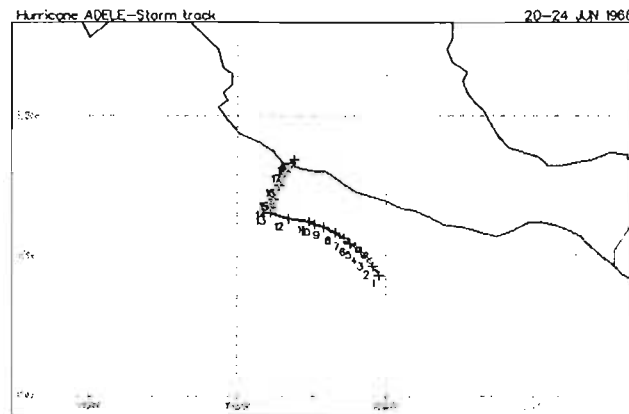


Figura C.16. Trayectoria del ciclón Adele, del 20 al 24 de junio de 1966 (University of Purdue, 2004).

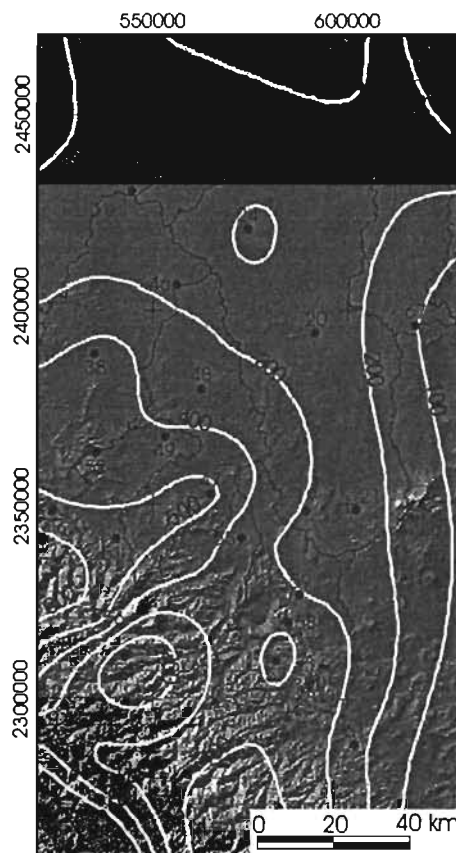


Figura C.17. Mapa de precipitación acumulada (en mm), del 18 al 28 de junio de 1966, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

En la cuenca de Tempoal, los gastos registrados el día 18 de junio eran muy bajos en cada una de sus subcuencas, pero después de las intensas precipitaciones que se presentaron en toda el área, los gastos aumentaron considerablemente hasta llegar a su máximo anual (Figura C.18). En la estación Terrerillos el día 18 y 19 se registraron $7 \text{ m}^3/\text{s}$ y el día 26 aumentó hasta $1,122 \text{ m}^3/\text{s}$, en los mismos días la estación los Hules 7 y $8 \text{ m}^3/\text{s}$ y después aumentó hasta los $742 \text{ m}^3/\text{s}$, la estación Cardón registró $2 \text{ m}^3/\text{s}$ para después aumentar hasta los $287 \text{ m}^3/\text{s}$ en los mismos nueve días. Todos estos registros se reflejaron en los $1,778 \text{ m}^3/\text{s}$ que se presentaron en la estación Tempoal dos días después.

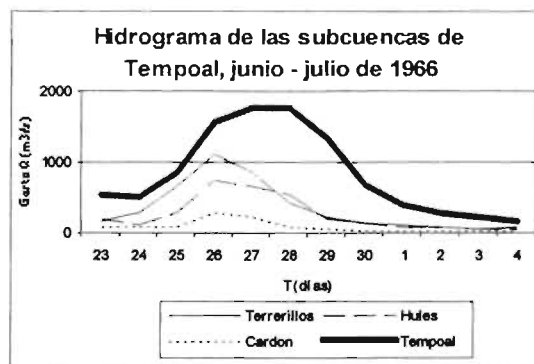


Figura C.18. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 23 de junio al 4 de julio de 1966 (CNA e IMTA, 1997).

El río Tampaón (estación Pujal), registró el día 18 de junio un gasto de $84 \text{ m}^3/\text{s}$ pero en tan sólo diez días registró su máximo con $2,230 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura C.19), la precipitación que originaban estos gastos se presentaron en lugares lejanos a la estación Pujal, ya que en esta estación, las lluvias registradas fueron escasas.

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas) se registró un gasto de $167 \text{ m}^3/\text{s}$ y tan sólo dos días después superó los $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$, posteriormente el gasto se estabilizó en valores cercanos a los $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ para después incrementarlo considerablemente hasta su máximo anual de $5,410 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 28 de junio (Figura C.20). Al presentarse su gasto máximo anual, se registró una lectura de escala de 16.53 m .

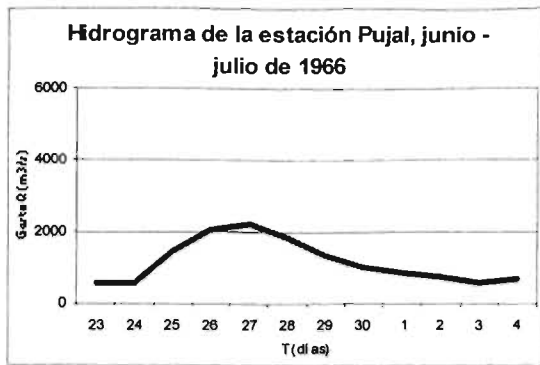


Figura C.19 Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 23 de junio al 4 de julio de 1966 (CNA e IMTA, 1997).

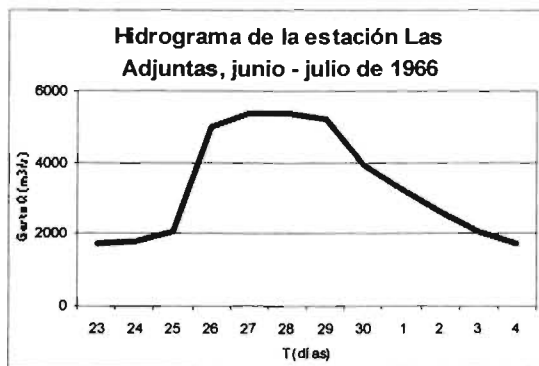


Figura C.20. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Las Adjuntas, del 23 de junio al 4 de julio de 1966 (CNA e IMTA, 1997).

Septiembre de 1967

En el año 1967, en la vertiente del Golfo de México de todos los ciclones que se presentaron sólo Beulah fue el que originó la inundación de este año (Salas, 1992). El ciclón Beulah (Figura C.21), se formó el día 8 de septiembre a 14°04' de Latitud Norte y 56°46' de Longitud Oeste, al Este de Las Antillas. El día 18 entró al Golfo de México y el día 19 cambió de dirección hacia el Noroeste hasta llegar a costas tejanas, donde el día 21 volvió a cambiar de dirección hacia el Suroeste, y ya dentro de tierra firme, donde se disolvió el día 22.

La precipitación originada por Beulah no sólo fue muy intensa al Sur de la cuenca del río Tempoal, sino que también al Norte de la cuenca del Pánuco, en donde la estación climatológica Tamos registró el máximo de precipitación acumulada con 696 mm en trece días, a su vez, en el mismo periodo en la estación Pánuco se

registraron 500 mm, lo cual representó un 58.18% de lo que llueve anualmente, al igual que la estación Pánuco, existieron otras 17 estaciones en toda el área que superaron los 400 mm en los trece días (Figura C.22).

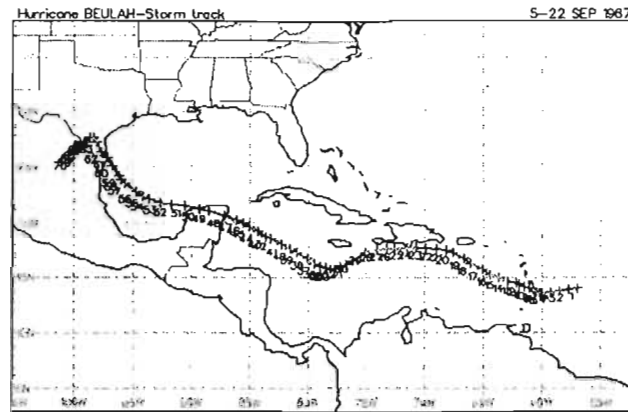


Figura C.21. Trayectoria del ciclón Beulah, del 5 al 22 de septiembre de 1967 (University of Purdue, 2004).

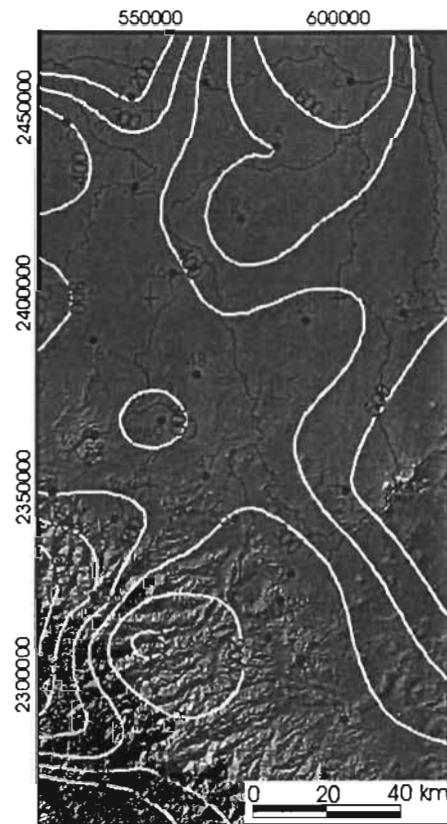


Figura C.22. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del 15 al 27 de septiembre de 1967, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

Entre los días 21 al 27 de septiembre, los efectos por las lluvias generadas por el ciclón Beulah se dejaron sentir, sobre todo en la parte baja de la cuenca del Pánuco, desde las laderas de la Sierra Madre Oriental hasta Tampico.

En la cuenca del río Tempoal los gastos registrados en las subcuencas el día 22 de septiembre eran bajos, pero tan sólo dos días después alcanzaron su máximo aumentando desde ocho hasta 18 veces su caudal, en la estación Tempoal, el día 22 el gasto era de $165 \text{ m}^3/\text{s}$, pero fue aumentando hasta el día 26 que alcanzó su máximo con $2,245 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura C.23) y una lectura de escala de 17.18 m.

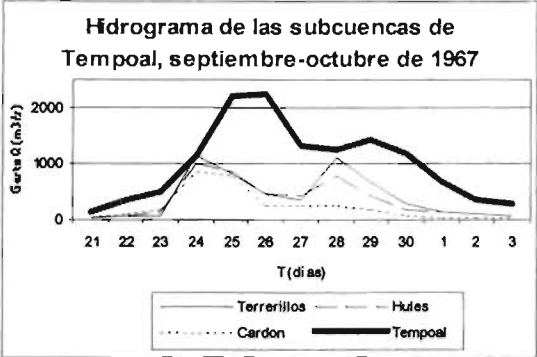


Figura C.23. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 21 de septiembre al 3 de octubre de 1967 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación el Pujal), el día 22 de septiembre el caudal comenzó a incrementarse, hasta llegar a su máximo el día 26 con una lectura de escala de 10.80 m y un gasto de $2,860 \text{ m}^3/\text{s}$. Posteriormente al caudal disminuyó hasta registrar $695 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 3 de octubre (Figura C.24).

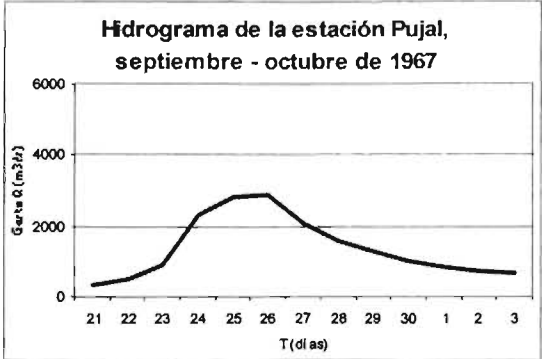


Figura C.24. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 21 de septiembre al 3 de octubre de 1967 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), la crecida comenzó a manifestarse el día 22, y para el día 26 alcanzó el gasto máximo con 5,233 m³/s y una escala máxima de 16.65 m, de ese día en adelante, el caudal comenzó a disminuir hasta llegar a su nivel normal aproximadamente treinta días después (Figura C.25).

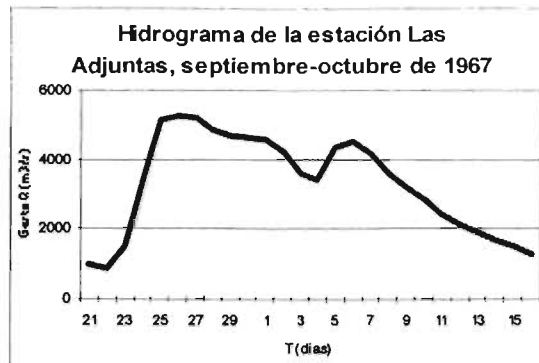


Figura C.25. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Las Adjuntas, del 21 de septiembre al 16 de octubre de 1967 (CNA e IMTA, 1997).

Agosto y septiembre de 1969

El año 1969 fue en el que las perturbaciones de origen ciclónico no afectaron directamente el curso bajo del río Pánuco, pero a pesar de esto fue un año en el que las crecidas fueron muy altas. Los días 29 y 30 de agosto, el 6 y 7 de septiembre fueron periodos de intensa precipitación asociados con masas de aire marítimo.

La distribución de la precipitación, se observa claramente en la Figura C.26, donde de nueva cuenta, las precipitaciones más altas se registraron en el Sur y Suroeste de la cuenca de Tempoal, en donde la estación climatológica de Xilitla registró 1,224 mm en tan sólo quince días, la estación Zacualtipan con 641 mm y Tlachinol con 976 mm, lo que representó de la precipitación que llueve anualmente un 44.58%, 52,52% y 42,62% respectivamente.

En la cuenca de Tempoal, los gastos máximos anuales registrados en las subcuencas se presentaron el mismo día, excepto en la de Tempoal, donde se presentó un día después. Curiosamente el gasto máximo registrado en toda la cuenca de Tempoal se presentó en la estación de Terrerillos con 2,224 m³/s el día 7 de septiembre (Figura C.27).

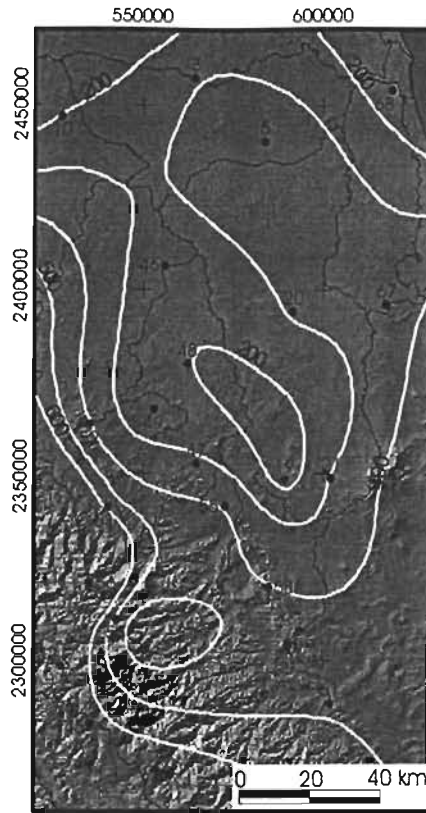


Figura C.26. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del 28 de agosto al 11 de septiembre de 1969, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

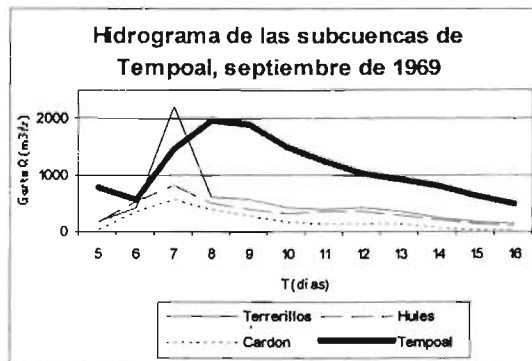


Figura C.27. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 5 al 16 de septiembre de 1969 (CNA e IMTA, 1997).

El río Tampaón (estación Pujal) registró el día 9 de septiembre a las 2:00 hr el máximo, con un gasto de $2,845 \text{ m}^3/\text{s}$ y una lectura de escala de 12.63 m. En el río Pánuco (estación Las Adjuntas) el máximo gasto se presentó el día 11 de septiembre después, de haber ido creciendo paulatinamente por más de diez días. El máximo registrado fue de $4,721 \text{ m}^3/\text{s}$, con una lectura de escala de 17.24 m. En

este periodo, trece días el gasto fue superior a los 4,000 m³/s, posteriormente disminuyó gradualmente hasta llegar a valores normales (Figura C.28).

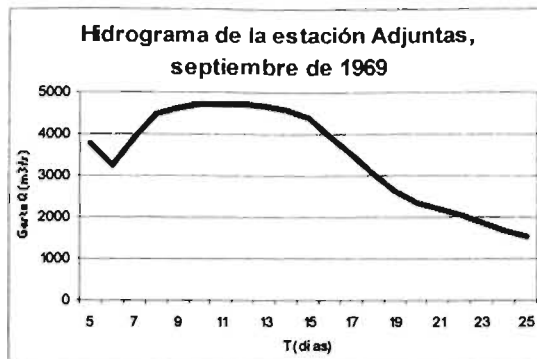


Figura C.28. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Las Adjuntas, del 5 al 16 de septiembre de 1969 (CNA e IMTA, 1997).

Septiembre de 1974

En el año 1974 las intensas lluvias sumadas a dos ciclones que se presentaron en esas fechas influyeron a que se registraran crecidas muy importantes. Fueron dos perturbaciones atmosféricas que sus remanentes provocaron lluvias que ayudaron para que se presentaran inundaciones en el curso bajo del río Pánuco.

El primer ciclón que se presentó fue Fifi (Figura C.29), el cual se originó el día 14 de septiembre en las coordenadas 16°00' de Latitud Norte y 65°00' de Longitud Oeste, al Sur de Puerto Rico. Después de seguir una trayectoria al Oeste y atravesar el país llegó a su fin el día 22 de septiembre en el océano Pacífico.

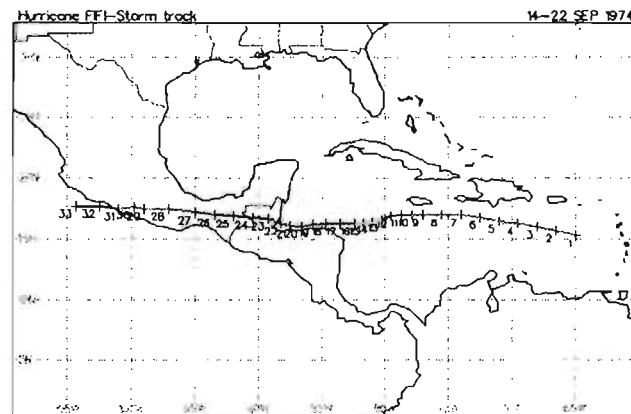


Figura C.29. Trayectoria del ciclón Fifi, del 14 al 22 de septiembre de 1974 (University of Purdue, 2004).

El segundo ciclón fue Orlene (Figura C.30), esta perturbación se originó el 21 de septiembre en el Océano Pacífico, a unos cuantos kilómetros al Sur de las costas oaxaqueñas, después de recorrer las costas mexicana hacia el Noroeste cambió de dirección y se internó al país, donde llegó a su fin el día 24 del mismo mes.

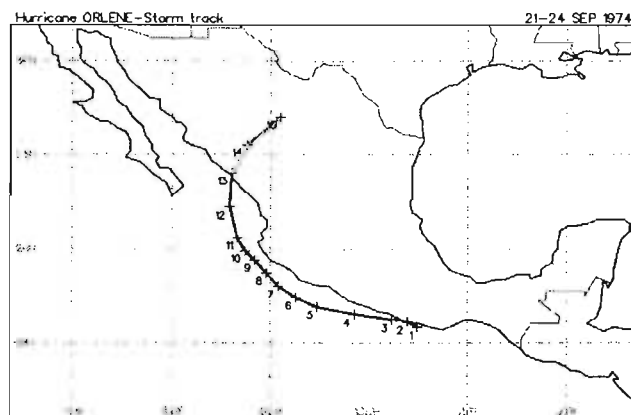


Figura C.30. Trayectoria del ciclón Orlene, del 21 al 24 de septiembre de 1974 (University of Purdue, 2004).

La máxima concentración de lluvia se presentó entre los días 21 y 22 de septiembre, y en tan sólo siete días se registraron 1,050.5 mm en la estación climatológica Los Hules y 1,024 mm en Tlachinol, las dos estaciones localizadas al Suroeste de la cuenca de Tempoal, lo que llovió en Los Hules representó el 79.68% de lo que llueve anualmente. La precipitación acumulada que se registró en doce días fue superior a los 500 mm en 21 estaciones, de las cuales siete registraron valores superiores a los 700 mm, esto indica la alta intensidad de la lluvia (Figura C.31).

En la cuenca de Tempoal los gastos que se registraron en sus subcuencas aumentaron considerablemente después de que se presentaron las intensas precipitaciones, el día 19 de septiembre se registraron 28 m³/s en la estación Terrerillos, 22 m³/s en los Hules, 3 m³/s en Cardón y 52 m³/s en Tempoal, pero tan sólo dos días después se registraron 2,728, 1,950, 921 y 1,002 m³/s respectivamente. En el caso de la estación los Hules ese fue su gasto máximo anual, para la estación Terrerillos y Cardón se registró el día 23 con 3,188 y 1,198 m³/s y en la estación de Tempoal el máximo anual se dio el día 24 a las 7:00 hr

con $4,950 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es el segundo gasto más importante de todos los años medidos hasta ese momento (Figura C.32).

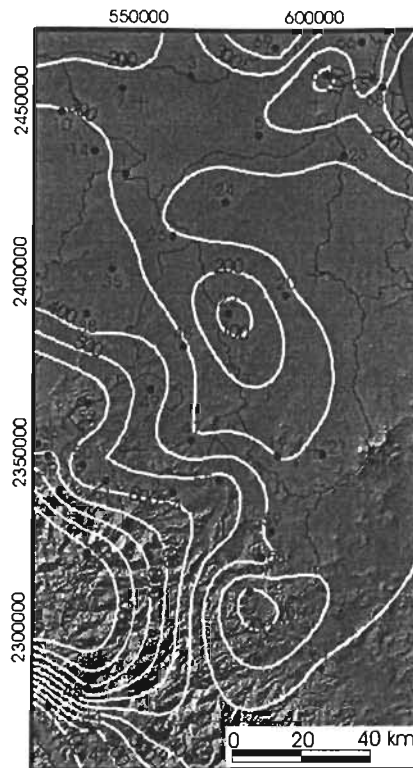


Figura C.31. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del ciclón Orlene (19 al 30 de septiembre de 1974), realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

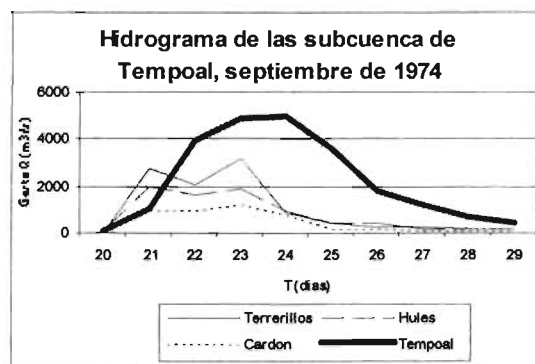


Figura C.32. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 20 al 29 de septiembre de 1974 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación Pujal), la avenida durante cuatro días consecutivos alcanzó valores mayores a $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$, el máximo gasto se registró el día 24 con

un gasto de 4,140 m³/s (Figura C.33). Las precipitaciones que se presentaron en la misma estación y sus alrededores influyeron considerablemente para que alcanzara esos valores en tan sólo cuatro días.

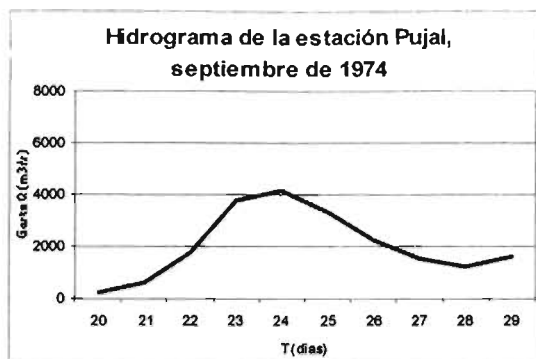


Figura C.33. Hidrogramas de los gastos máximos anuales de la estación Pujal, del 20 al 29 de septiembre de 1974 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), después de haber presentado un gasto inferior a los 600 m³/s hasta el día 21, aumentó considerablemente hasta que el día 27 a las 9 hr se registró uno de los gastos más altos en su historia con 5,820 m³/s y una escala de 18.02 m. Dos días después en la estación del Pánuco se registró un gasto de 7,300 m³/s y una escala de 7.94 m, en este periodo se registraron once días con un gasto superior a los 6,000 m³/s, de los cuales seis días rebasaron los 7,000 m³/s, lo que representó ser uno de los años con una de las temporadas más altas registradas en toda su historia (Figura C.34).

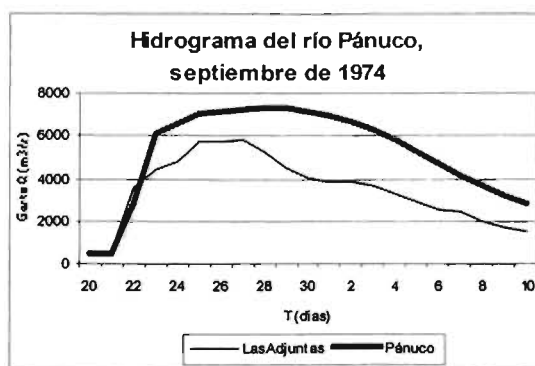


Figura C.34. Hidrograma del gasto máximo anual de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del río Pánuco, del 20 al 29 de septiembre de 1974 (CNA e IMTA, 1997).

Septiembre de 1975

En el año 1975 no se presentó ningún ciclón que tuviera una influencia de manera directa en la crecida del río Pánuco, pero la precipitación que se acumuló en 18 días fue muy intensa. En la Figura C.35, se puede observar que la distribución de la precipitación al Suroeste de la cuenca del río Tempoal presenta los valores más elevados de toda el área completa, en la estación climatológica Tlachinol se registraron en 18 días 1,130.8 mm, de los cuales la lluvia se concentró en ocho días, acumulándose 1010.1 mm que representan el 44.08% de lo que llueve anualmente.

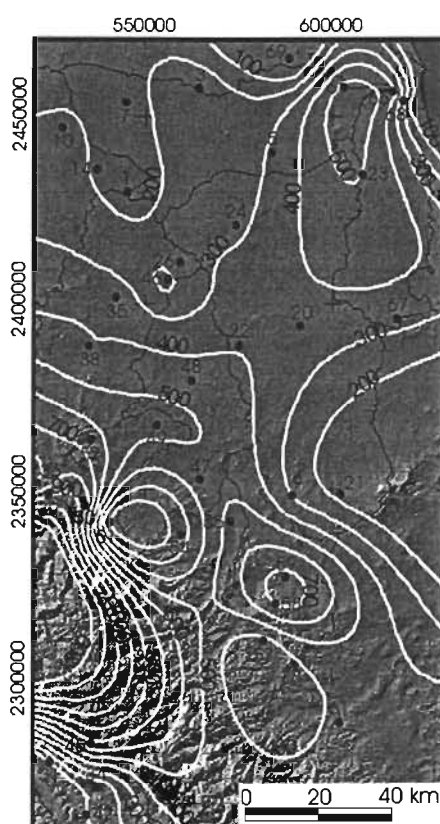


Figura C.35. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del 1 al 18 de septiembre de 1975, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

Los gastos máximos originados por las lluvias en la cuenca del río Tempoal se presentaron el día 10 de septiembre, excepto en la estación Tempoal en la cual se presentó el día 13 con 4,040 m³/s para posteriormente disminuir a su nivel normal (Figura C.36).

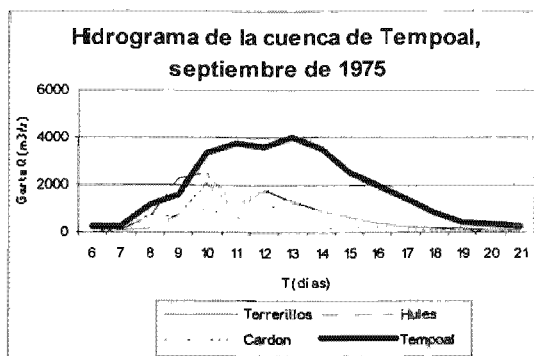


Figura C.36. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 6 al 21 de septiembre de 1975 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación Pujal), el día 8 de septiembre se registró un gasto de $703 \text{ m}^3/\text{s}$, un día después ya había aumentado al doble y así siguió aumentando hasta que llegó a su máximo anual el día 12 con $3,038 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Figura C.37 se puede observar que los gastos registrados no fueron la causa de la precipitación que se presentó en la misma estación, sino de la precipitación que se registró en otros lugares de la misma cuenca.

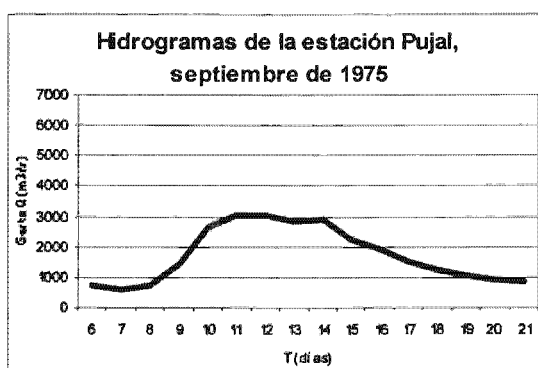


Figura C.37. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 6 al 21 de septiembre de 1975 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), el día 7 de septiembre se registró un gasto de $1,401 \text{ m}^3/\text{s}$, pero a causa de las precipitaciones que se presentaron a principios de mes en toda el área, el día 10 se empezaron a registrar valores por encima de los $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ y el día 15 a las 12 hr llegó a su gasto máximo anual de $6,190 \text{ m}^3/\text{s}$ y una escala de 18.27 m. Este gasto es uno de las tres ocasiones que

han superado los 6,000 m³/s en todos los años de registro. En la estación Pánuco se presentó un gasto máximo anual de 4,138 m³/s el día 18 de septiembre (Figura C.38), el cual es un gasto inferior al que se presentó, río arriba, en la estación Las Adjuntas tres días antes, esto nos hace creer que el caudal se desbordó por toda la planicie de inundación del río Panuco.

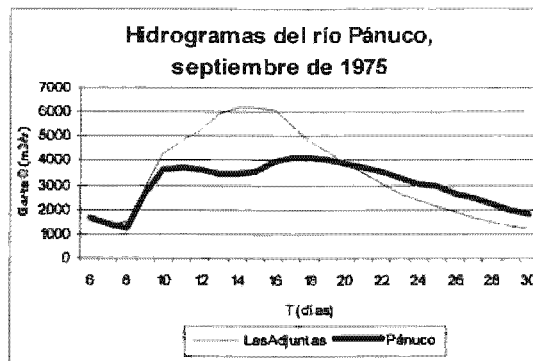


Figura C.38. Hidrograma de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del río Pánuco, del 6 al 21 de septiembre de 1975 (CNA e IMTA, 1997).

Julio de 1976

En el año 1976 no existieron ciclones que influyeran de manera directa en las inundaciones que existieron, pero al observar los datos climatológicos se puede decir que fue uno de los años que se caracterizó por intensas lluvias en el área. En la Figura C.39 se observa que no sólo al Suroeste de la cuenca del Tempoal se presentaron intensas precipitaciones, como regularmente sucede, sino que también en la cuenca del Pánuco se registraron valores por encima de los 600 mm. En la estación climatológica Las Adjuntas en la cuenca del Pánuco, en 18 días llovieron 681 mm que representan el 77% de lo que llueve anualmente, también en la estación Velazco, al Norte de Las Adjuntas, se registraron valores de precipitación muy altos, que representaron casi el 70% de lo que llueve en tan sólo un año. Al igual que en estas dos estaciones climatológicas de la cuenca de Pánuco, en toda el área completa se registraron precipitaciones muy intensas, que en promedio dieron 448 mm en cada estación.

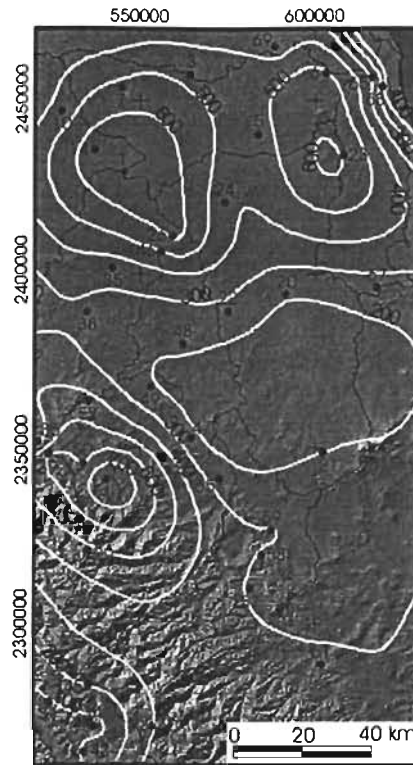


Figura C.39. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del 1 al 18 de julio de 1976, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

En la cuenca de Tempoal, los gastos máximos que se registraron en las subcuencas se presentaron del 6 al 8 de junio, excepto en la subcuenca los Hules, donde el gasto máximo anual se presentó hasta el día 11 del mismo mes (Figura C.40). En la estación de Tempoal, se registró el día 8 uno de los gastos máximos anuales más bajos en toda su historia, con $1,125 \text{ m}^3/\text{s}$.

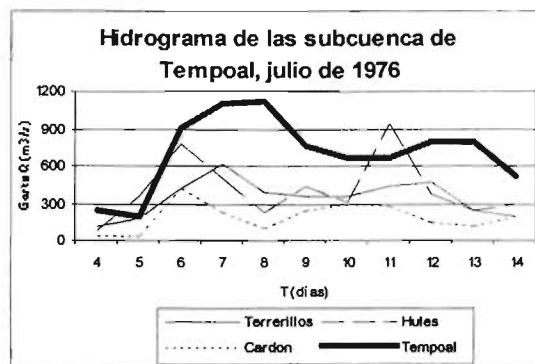


Figura C.40. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 4 al 14 de julio de 1976 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación Pujal), los gastos que se presentaron después del inicio de las precipitaciones de julio, aumentaron hasta valores superiores a los 2000 m³/s, pero después de aumentar las precipitaciones el día 9, los gastos también aumentaron hasta los 4,902 m³/s el día 12, lo cual fue su máximo anual (Figura C.41).

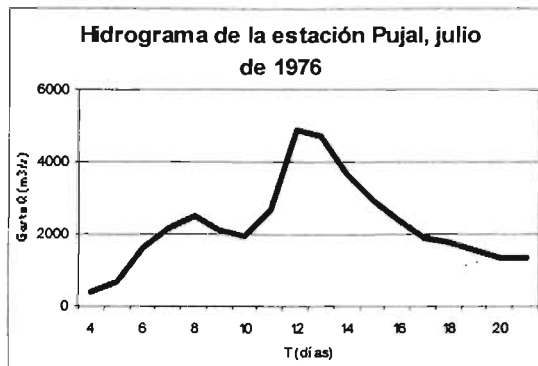


Figura C.41. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 4 al 21 de julio de 1974 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), los gastos que se presentaron hasta el día 6 de julio fueron inferiores a los 2,000 m³/s, pero después aumentaron, y después de ocho días se registró su máximo anual de 5,147 m³/s y una lectura de escala de 17.57 m, fue una temporada de 17 días consecutivos superiores a los 3,000 m³/s, de los cuales siete superaron los 4,000 m³/s y tres los 5,000 m³/s. La estación Pánuco también registró 17 días de gastos por encima de los 3,000 m³/s,

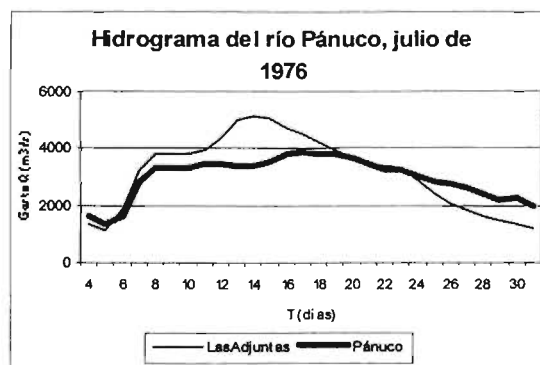


Figura C.42. Hidrograma del gasto máximo anual de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del río Pánuco, del 4 al 31 de julio de 1974 (CNA e IMTA, 1997).

sólo que su máximo anual fue de 3,886 m³/s registrado el día 17 de julio con una lectura escala de 8.15 m (Figura C.42).

Septiembre de 1978

En este año, la tormenta tropical Paul (Figura C.43), a pesar de haberse creado en el océano Pacífico, su origen se dio muy cercano a la fecha del registro máximo del año. Paul se generó el 23 de septiembre, al Sur de las costas de Guerrero, su trayectoria fue al Noroeste, y al llegar a la altura de Puerto Vallarta cambió de rumbo hacia el Norte, para internarse en el mar de Cortés y llegar a las costas de Sinaloa, donde disminuyó su fuerza hasta desaparecer.

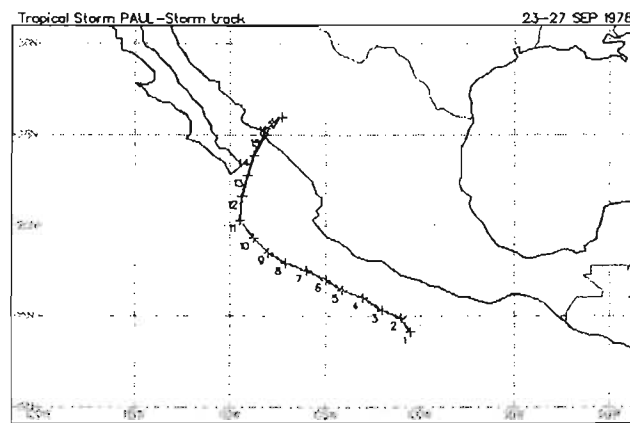


Figura C.43. Trayectoria del ciclón Paul, del 23 al 27 de septiembre de 1978 (University of Purdue, 2004).

La distribución de la precipitación acumulada en mm del 18 al 28 de septiembre se puede observar en la Figura C.44, donde los valores máximos se registraron al Oeste de la cuenca de Tempoal con valores superiores a 700 mm.

En la cuenca de Tempoal los gastos registrados en tres de las cuatro estaciones hidrométricas eran muy bajos (Figura C.45), el día 20 de septiembre se registraron 30 m³/s en la estación hidrométrica Terrerillos, 27 m³/s en Los Hules y 65 m³/s en Tempoal, pero el día 24 llegaron a su máximo anual Terrerillos y Los Hules, con 2,152 y 2,874 m³/s respectivamente, y la estación Tempoal lo hizo un día después con 3,725 m³/s.

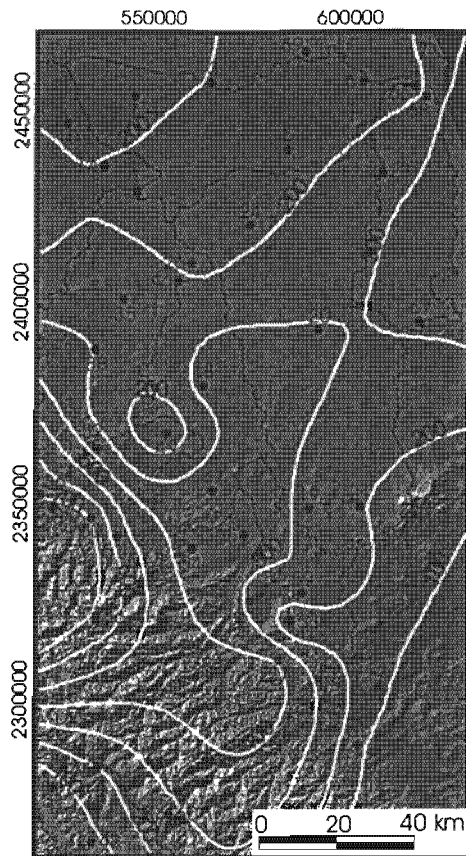


Figura C.44. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del 18 al 28 de septiembre de 1978, realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

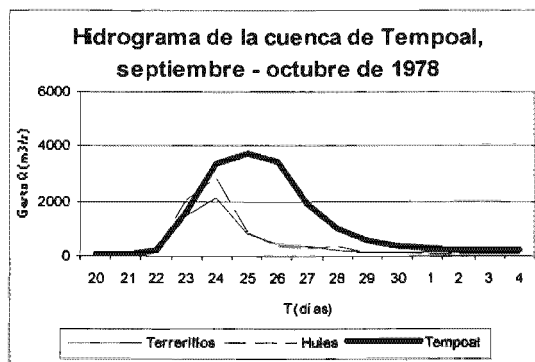


Figura C.45. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones que se localizan en la cuenca de Tempoal, del 20 de septiembre al 4 de octubre de 1978 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tampaón (estación Pujal), el gasto máximo anual de $3,056 \text{ m}^3/\text{s}$ se registró un día después del 24 de septiembre, que fue cuando se presentaron 98.6 mm en sólo ese día (Figura C.46).

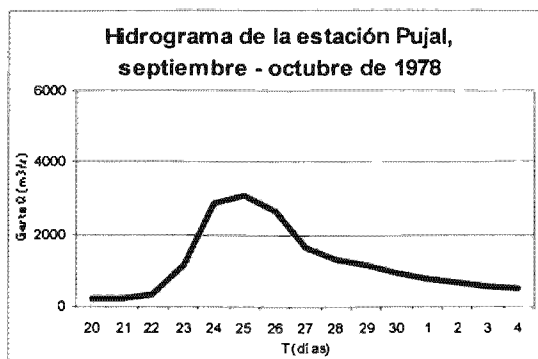


Figura C.46. Hidrograma del gasto máximo anual de la estación Pujal, del 20 de septiembre al 4 de octubre de 1978 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), el gasto se incremento considerablemente en tan sólo cuatro días para llegar a su máximo, ya que el día 22 de septiembre se registraron $337 \text{ m}^3/\text{s}$ y el día 26 llegó a $5,214 \text{ m}^3/\text{s}$ con una lectura de escala de 17.1 m. En la estación Pánuco, el gasto máximo anual fue inferior al que se registró dos días antes en la estación Las Adjuntas, ya que sólo fue de $3,471 \text{ m}^3/\text{s}$ y una escala de 7.18 m (Figura C.47).

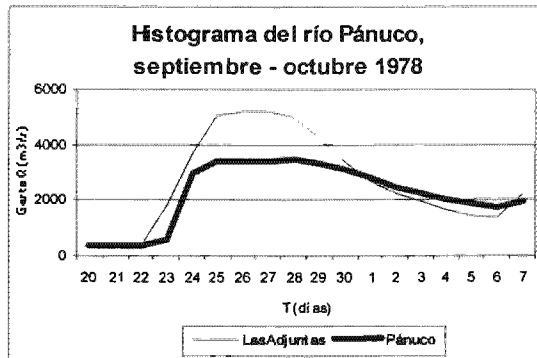


Figura C.47. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del río Pánuco, del 20 de septiembre al 7 de octubre de 1978 (CNA e IMTA, 1997).

Este fue otro año en el que el gasto máximo registrado en la estación Las Adjuntas es superior a la del Pánuco, por lo que al ver las diferencias entre un gasto y el otro, hace pensar que fue por causa de un desbordamiento de gran importancia.

Septiembre de 1993

En el año 1993, se presentaron varias perturbaciones atmosféricas, de las cuales sólo una causó verdaderos daños a la región del Pánuco. El ciclón Gert (Figura C.48) se originó el día 14 de septiembre al Norte de Panamá y después de tener una trayectoria general hacia el Noroeste, se interno en el Golfo de México, como tormenta tropical con rumbo hacia el estado de Veracruz. El día 20 penetró en el Norte de Veracruz, cerca de la laguna de Tamiahua (Mansilla, 1994).

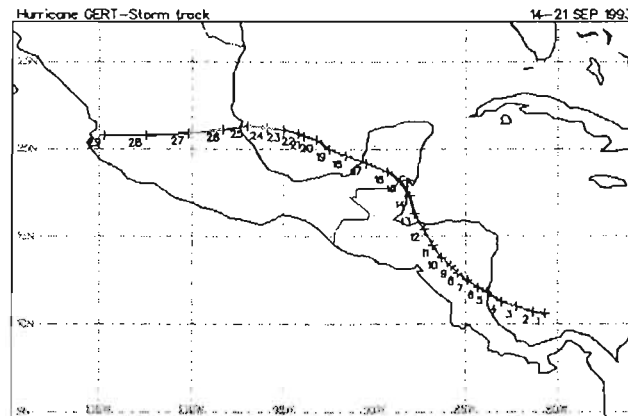


Figura C.48. Trayectoria del ciclón Gert, del 14 al 21 de septiembre de 1993 (University of Purdue, 2004).

Las intensas precipitaciones que originó el ciclón Gert fueron muy uniformes en toda el área del Pánuco (Figura C.49), por lo que no sólo fueron intensas en la parte alta de la cuenca del río Tempoal, como ha ocurrido en otros años sino también en las cuencas de los ríos Tampaón y Moctezuma, las mayores precipitaciones se registraron en la estación de Tempoal con 547 mm, esto representó el 55% de la lluvia anual en tan sólo ocho días.

En la cuenca de Tempoal, sólo se registraron valores en tres de las cuatro estaciones hidrométricas que existen (Figura C.50), en la estación hidrométrica los Hules se registraron $58 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 19 de septiembre, dos días después llegó a su máximo anual con $1,684 \text{ m}^3/\text{s}$. En la estación Cardón, los valores del día 19 eran realmente bajos con $13 \text{ m}^3/\text{s}$ y el día 22 se registró su máximo gasto con $826 \text{ m}^3/\text{s}$. En la estación hidrométrica de Tempoal el gasto registrado el día 19 fue de 123

m³/s, al siguiente día superó los 1,000 m³/s y el día 22 alcanzó los 1,778 m³/s, lo cual fue su máximo anual.

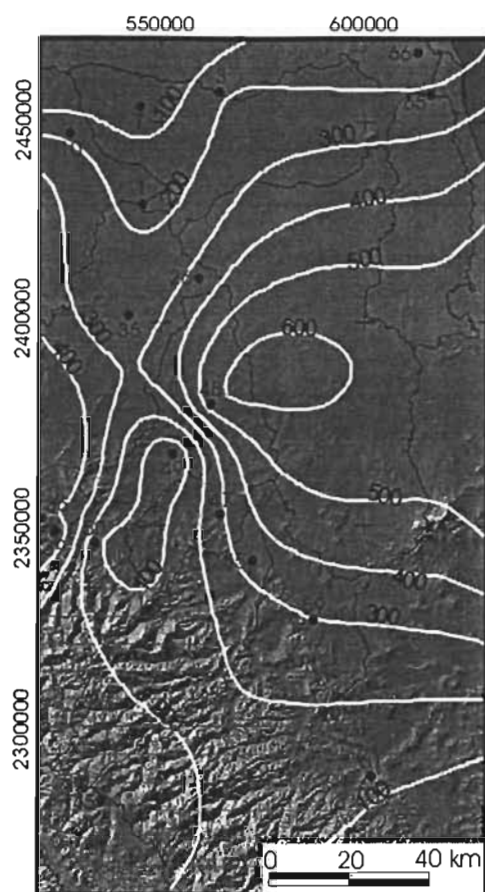


Figura C.49. Mapa de precipitación acumulada (en mm) del ciclón Gert (19 al 26 de septiembre), realizado con los valores de las estaciones de registro (ERIC, 1996).

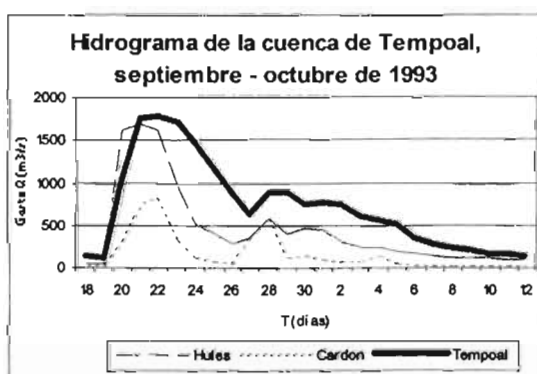


Figura C.50. Hidrograma de los gastos máximos anuales de las subcuencas de Tempoal, del 18 de septiembre al 12 de octubre de 1993 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Tapaón (estación Pujal), los gastos generados por las intensas precipitaciones que se dieron en toda su cuenca aumentaron casi once veces, desde el 19 de septiembre hasta el día 22, que fue cuando se registró su máximo anual de 4,679 m³/s (Figura C.51).

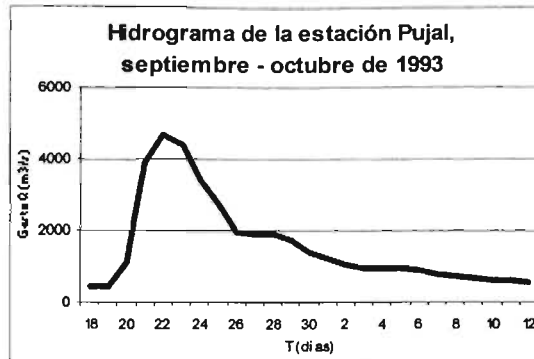


Figura C.51. Hidrograma de los gastos máximos anuales de la estación Pujal, del 18 de septiembre al 12 de octubre de 1993 (CNA e IMTA, 1997).

En el río Pánuco (estación Las Adjuntas), el gasto que se registró el día 20 de septiembre fue de 747 m³/s, lo cual era un gasto bajo, al día siguiente el caudal aumentó casi cinco veces su nivel, llegando a los 3,619 m³/s, y no dejó de aumentar hasta llegar a su máximo gasto anual el día 24 con 5,438 m³/s y una lectura de escala de 19.27 m. En la estación Pánuco, el aumento del caudal también se presentó el día 21 de septiembre, pero no fue tan pronunciado sino hasta el día 25, este día el caudal aumentó dos veces y media, superando los 5,000 m³/s, el día 26 se registró su máximo a las 17 hr con 5,836 m³/s y una escala de 8.77 m (Figura C.52).

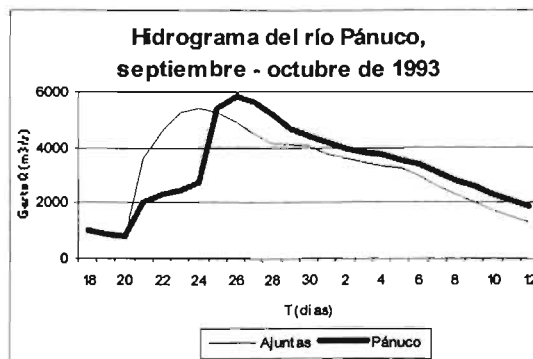


Figura C.52. Hidrogramas de las estaciones Las Adjuntas y Pánuco del río Pánuco, del 18 de septiembre al 12 de octubre de 1993 (CNA e IMTA, 1997).

Mapa geomorfológico fluvial del curso bajo del río Pánuco.

