

Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz

Ricardo Javier Garnica Peña*
Irasema Alcántara Ayala*

Recibido: 15 de marzo de 2004
Aceptado en versión final: 29 noviembre de 2004

Resumen. Los asentamientos humanos localizados en zonas aledañas al río Tecolutla han sido afectados por inundaciones desde tiempos históricos. De manera reciente, el grado de susceptibilidad a este tipo de peligros se vio expresado mediante los daños, materiales y humanos, originados por un evento de precipitación extraordinaria en octubre de 1999, durante el cual hubo pérdidas económicas estimadas en 2.7 millones de pesos. El peligro potencial a inundaciones, combinado con la alta vulnerabilidad de algunas comunidades, condiciona el nivel de riesgo al que está expuesto aproximadamente el 30% de la población municipal. Con base en criterios morfológicos y estadísticos, complementados con la utilización de técnicas de percepción remota, se elaboró una zonificación de las áreas susceptibles a inundación del curso bajo del río Tecolutla, así como un análisis de la vulnerabilidad de las comunidades comprendidas en la zona, con la finalidad de conocer el riesgo existente asociado a inundaciones.

Palabras clave: Susceptibilidad, inundaciones, vulnerabilidad, riesgo, Tecolutla.

Flood risk assessment associated to extraordinary precipitation events in the lower Tecolutla River, Veracruz

Abstract. Human settlements located in the vicinity of the Tecolutla River have been affected by flooding since historic times. Recently, the degree of susceptibility to floods was expressed by the disastrous consequences produced by an extreme precipitation event in October 1999, when associated economic losses reached 2.7 millions of pesos. Potential flooding hazards, combined with high levels of vulnerability of some communities, determine the level of risk to which circa 30% of the municipality population is exposed to. Based on morphological, statistical and remote sensing approaches, areas susceptible to flooding were established for the lower course of Tecolutla River, along with an analysis of the communities vulnerability in order to understand risk.

Key words: Susceptibility, flooding, vulnerability, risk, Tecolutla.

* Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: rjgarnicap@hotmail.com; irasema@igiris.igeograf.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son consideradas como uno de los fenómenos de mayor impacto en el ámbito mundial, debido al efecto que ocasionan en grandes extensiones territoriales densamente pobladas. Domínguez *et al.* (1999) define una inundación como el proceso que se produce cuando el gasto de una avenida generada en una cuenca supera la capacidad del cauce por lo que el exceso de agua escurre fuera del mismo, hacia las partes más bajas. Las inundaciones son fenómenos naturales que se convierten en peligros cuando los espacios ocupados por las poblaciones abarcan las llanuras de inundación naturales de un río y, por consecuencia, son afectadas por la acumulación de agua.

Como resultado de la ocurrencia de diversos desastres asociados a este fenómeno natural, las avenidas han recibido mayor atención en el mundo debido a su repercusión sobre la población. De acuerdo con la base internacional de datos de desastres elaborada por el CRED (OFDA-CRED Database), en todo el mundo, 7 477 552 personas fueron víctimas de inundaciones durante el periodo 1900-2001, en tanto que la población total afectada alcanzó la cifra de 2 379 092 236 habitantes. Entre los eventos más importantes cabe destacar dos inundaciones ocurridas en el río Yangtze, China, la primera de ellas en 1931 que ocasionó la pérdida de 3 700 000 vidas, y otra más reciente en agosto de 1998, en la que 238 973 000 habitantes fueron afectados. Estas cifras reflejan de manera tangible el impacto de este tipo de peligros en el ámbito mundial.

En el caso de México, a partir de 1971 y hasta el 2001, se registraron 27 inundaciones que se convirtieron en desastres, los cuales ocasionaron 4 941 pérdidas humanas, una población afectada de 1 906 148 habitantes y pérdidas

materiales que ascendieron a más de 412 millones de dólares (OFDA-CRED Database).

Por otra parte, como resultado del carácter geográfico y fisiográfico de México, frecuentemente es afectado por precipitaciones producidas por actividad ciclónica y tormentas tropicales, durante el verano y otoño, y por los frentes polares en invierno, ocasionando lluvias abundantes en diferentes estados, tales como Chiapas, Puebla, Tabasco, Veracruz, Yucatán, entre otros. Consecuentemente, se han realizado diversas investigaciones que han abordado la problemática de las inundaciones en distintas regiones de nuestro país considerando enfoques diversos; entre ellos, cabe destacar el trabajo de Delgado e Isuhuaylas (2001), quienes emplearon modelos hidráulicos para entender la dinámica de las inundaciones en la subcuenca del río Tejalpa, en el Estado de México, así como Hudson y Colditz (2003) combinaron criterios geomorfológicos, de laboratorio y percepción remota para delimitar un valle aluvial en la cuenca del río Pánuco.

Uno de los eventos recientes que más daños ha ocasionado en México se presentó en el estado de Veracruz a principios de octubre de 1999. Precipitaciones extraordinarias derivadas del contacto entre una depresión tropical y un frente frío ocasionaron inundaciones que afectaron los municipios de Álamo, Tuxpan, Papantla, Gutiérrez Zamora, Martínez de la Torre, Hueyapán de Ocampo, Minatitlán, Tenixtepec y Tecolutla. Las pérdidas económicas se estimaron en 2 787 millones de pesos, de los cuales el 74% correspondieron a los sectores agrícola, pesquero, forestal, industrial, comunicaciones y transportes (Bitrán, 2000). Cabe destacar que de manera paralela a las inundaciones, también ocurrieron algunos procesos de remoción en masa principalmente en los municipios de Papantla y Gutiérrez Zamora.

Veracruz es uno de los estados más sus-

ceptibles a inundaciones por localizarse en el oriente del país, en una región a través de la cual varios ríos desembocan en el Golfo de México. Diversos huracanes y depresiones tropicales han afectado a lo largo de la historia esta área, entre ellos es importante mencionar a los huracanes Gladis, Hilda y Janet en 1955; Gert en 1993, y Opal y Roxana en 1995. El huracán Roxana tuvo impacto principalmente en las poblaciones ubicadas en las proximidades de los ríos Nautla, Misantla y Bobos; 13 860 habitantes y 331 viviendas fueron afectadas como consecuencia de una precipitación de 269.9 mm en un periodo de 24 horas (Domínguez *et al.*, 1999).

Debido al impacto económico asociado a la ocurrencia de inundaciones, su estudio ha recibido atención principalmente de las ciencias de la tierra, las cuales a través de la implementación de diferentes metodologías analizan la dinámica fluvial, establecen periodos de retorno, y delimitan las zonas posibles de impacto, entre otros aspectos. El establecimiento de zonas susceptibles a este tipo de fenómenos se desarrolla con frecuencia con la ayuda de herramientas tales como sistemas de información geográfica (SIG; Bocco *et al.*, 1995; Noman *et al.*, 2003) y técnicas de percepción remota, así como mediante modelos matemáticos aplicados en hidrología (Olsen *et al.*, 2000). Todo lo anterior con la finalidad de expresar a través de mapas (de forma gráfica) las zonas potenciales a presentar inundaciones de diferentes magnitudes, las cuales son delimitadas con base en el análisis de información hidrométrica y de precipitación, indispensables en la obtención de periodos de retorno de precipitaciones de distinta intensidad, e intervalos de recurrencia de los gastos correspondientes.

La finalidad de esta investigación fue analizar las zonas susceptibles a inundaciones en el curso bajo del río Tecolutla con base en la

información hidrológica disponible, así como examinar el grado de vulnerabilidad de la población y su importancia en los niveles de riesgo asociados a inundaciones.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El área en estudio se encuentra ubicada en la porción norte del estado de Veracruz y abarca a los municipios de Gutiérrez Zamora y Tecolutla. Se ubica entre los 20° 21' 23" y 20° 30' 58" de latitud norte y 96° 57' 25" y 97° 13' 38" de longitud oeste. Tiene una superficie de 507.15 km² y está limitado al norte por el municipio de Papantla, al oeste por los municipios Gutiérrez Zamora y Papantla, al sur por Martínez de la Torre y al este por el Golfo de México (Figura 1). Con respecto a las características hidrológicas, el río Tecolutla pertenece a la región hidrológica No. 27 Tuxpan-Nautla y se origina en la Sierra Norte de Puebla, donde se localizan los arroyos formadores ubicados en los municipios Pahuatlán, Huauchinango, Zacatlán, Teziutlán, entre otros. En su parte más septentrional recibe el nombre de río Necaxa, el cual alberga el sistema hidroeléctrico del mismo nombre. Posteriormente recibe nombres como Tenango, Laxaxalpan y Chichicatzipan; se conecta con diferentes arroyos y esteros entre los que destacan el arroyo Solteros y los esteros Del Silencio y Cruz de los Esteros. El río Tecolutla se caracteriza por presentar un incremento en su caudal debido a la precipitación que ocurre en la zona resultado de la presencia de huracanes, depresiones tropicales y frentes fríos, los cuales generan lluvias de gran duración e intensidad (Castillo, 2000).

El clima que predomina en la zona, de acuerdo con la clasificación de Köppen, es Aw, cálido subhúmedo con lluvias en verano. De acuerdo con la carta de efectos climáticos realizada por INEGI (1984) y a la información

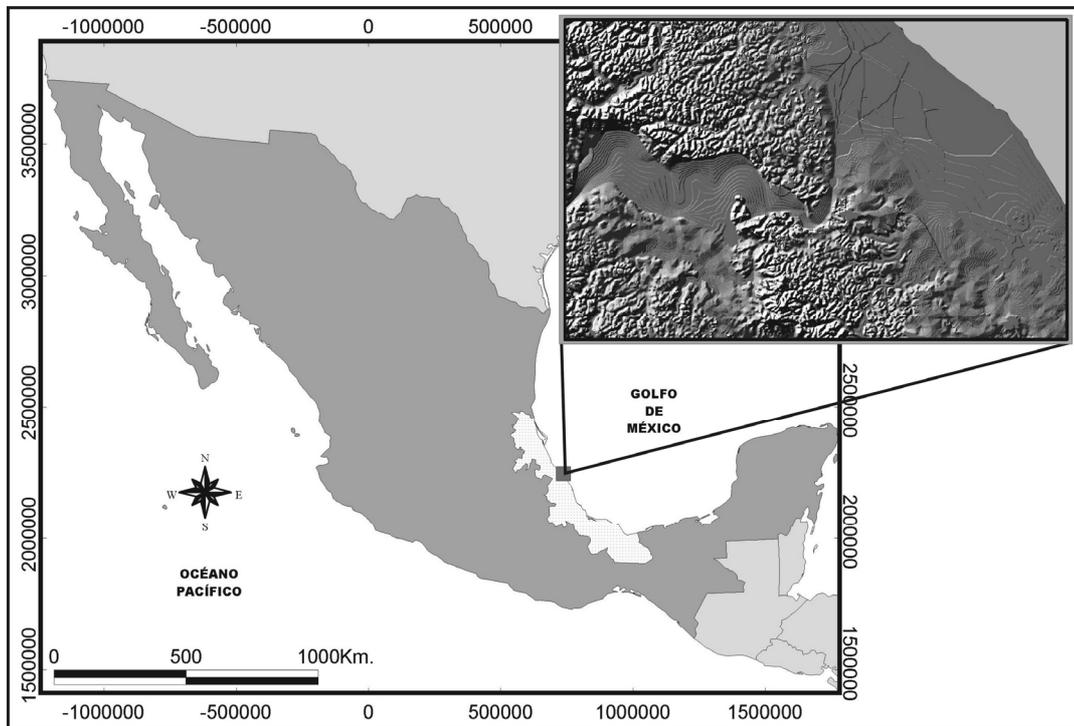


Figura 1. Localización del área en estudio.

meteorológica proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), presenta dos periodos de lluvia, de mayo-octubre y de noviembre-abril; el primero fluctúa entre los 900 y 1 200 mm, mientras que el segundo se ubica en un rango de 300-350 mm. Cabe señalar que esta precipitación puede variar debido al desarrollo de fenómenos hidrometeorológicos como los huracanes, tormentas tropicales, depresiones tropicales, etc., los cuales han jugado un papel importante en la ocurrencia de inundaciones en las últimas décadas.

INUNDACIONES EN VERACRUZ

El estado de Veracruz ocupa uno de los primeros lugares en cuanto a la ocurrencia de inundaciones, ya que se registran un promedio de 3.5 inundaciones por año (Ortiz *et al.*, 1992).

Dichas inundaciones tienen gran recurrencia en zonas que se encuentran bajo la influencia de ríos tales como Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, Jamapa, Blanco, Cazones, Nautla y Tecolutla, principalmente. Estos ríos sufren frecuentes desbordamientos como consecuencia de la presencia de ciclones, tormentas tropicales, etc. En particular, el curso bajo del río Tecolutla se ha visto afectado por las inundaciones generadas en eventos extraordinarios registrados principalmente durante los años 1974, 1981, 1986, 1988 y 1999 (datos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad; CFE). Esta última, de acuerdo con los habitantes de las localidades aledañas al río, es la que más daños ha ocasionado a la población seguida por la inundación ocurrida en 1955 como consecuencia del huracán Janet.

En 1999 el desbordamiento del río Teco-

lutla ocasionó la inundación de las planicies aledañas y de las depresiones. Debido a la fuerza de la corriente, los márgenes del cauce se ampliaron por la intensa socavación. La intensidad de la corriente fluvial permitió que el agua arrastrara personas, árboles, animales, automóviles y muebles. De manera particular, cabe resaltar la formación de surcos en la planicie costera al norte de la cabecera municipal de Tecolutla, derivadas de la intensa socavación del río en las proximidades del meandro ubicado en la localidad de El Triunfo, donde la corriente rebasó el cauce siguiendo un curso lineal hasta desembocar en el mar. Dado lo anterior, las localidades ubicadas al norte de la cabecera se vieron afectadas debido a que el tirante de agua alcanzó aproximadamente 2.5 m de altura (Figura 2).

De acuerdo con Castillo (2000) entre las localidades que sufrieron daños a consecuen-

cia de las intensas precipitaciones se encuentran: Paso del Progreso, Chichicatzapán, José María Pino Suárez, La Gloria, Maximino Ávila Camacho, Plan de Carrizo, Vista Hermosa Calichal, Paso Real, Cruz de los Esteros, Paso del Río, Cañada Rica, Hueytepec, Fuerte de Anaya, Barra Boca de Lima, Río Blanco, Boca de Lima, Rancho Los Lagartos, La Guadalupe, Ricardo Flores Magón, La Vigueta, Casitas, Santa Higinia, Palo Hueco, El Triunfo, La Libertad, Las Palmas y la Villa de Tecolutla. La red carretera también fue afectada, por lo que la comunicación entre los centros de población se dificultó; las redes eléctrica y telefónica resultaron dañadas y el servicio se interrumpió durante tres semanas; el suministro de agua potable también tuvo que ser suspendido debido a los daños, en tanto que el drenaje resultó averiado.

Cabe destacar que algunas áreas turísticas



Figura 2. Daños ocasionados en la cabecera municipal debido a las inundaciones de octubre de 1999.

sufrieron daños más severos, en especial el corredor turístico del municipio de Tecolutla en el cual se encuentran localidades como la Villa de Tecolutla, Ricardo Flores Magón, La Vigueta y Casitas. En estos sitios las inundaciones dañaron seriamente hoteles y restaurantes. Otro de los sectores más afectados fue el de la vivienda, ya que se perdieron 104 hogares en la cabecera municipal (Figura 3), 37 en Casitas y 29 en Costa Esmeralda (*Ibid.*).

La precipitación jugó un papel importante en el desastre ocurrido, ya que actuó como desencadenante de las inundaciones, y de algunos procesos de remoción en masa. En referencia a las inundaciones gran cantidad de agua precipitada dentro de la cuenca se concentró en las corrientes que descienden de la Sierra Norte de Puebla; lo cual ocasionó el desbordamiento de varias de ellas y, por con-

siguiente, la inundación extraordinaria ocurrida en el curso bajo del río Tecolutla.

RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

Con la idea de examinar la distribución temporal de la precipitación en el área en estudio y en particular el evento de 1999, se analizó la serie de datos de precipitación disponibles correspondientes a las estaciones meteorológicas El Remolino, Tecolutla y Libertad-Misantla (Tabla 1).

La estación El Remolino presenta una precipitación media anual de 1 314 mm (CFE), y una media mensual de 253 y 167 mm en septiembre y octubre, que son los meses más lluviosos. De manera contrastante, durante 1999 se registró una precipitación total de 2 108.1 mm, lo cual equivale al 160% de dicha media. De manera particular, durante los me-



Figura 3. Algunas de las viviendas afectadas por la inundación.

Tabla 1. Datos relevantes de precipitación de las estaciones meteorológicas El Remolino, Libertad-Misantla y Tecolutla

Estación	Media mensual septiembre (mm)	Media mensual octubre (mm)	Media anual (mm)	Máxima en 24 hr (mm)	Precipitación del 4 octubre de 1999 (mm)	Precipitación del 5 de octubre de 1999 (mm)	Lluvia acu- mulada en el periodo 28 de septiem- bre al 13 de octubre (mm)	Años disponibles
El Remolino	252.9	166.9	1 314	409.5	198.3	409.5	871.9	41
Libertad-Misantla	302.2	276.9	1 795.3	260	174.5	145.5	738	21
Tecolutla	348.4	255.6	1 528	380	N/D	N/D	N/D	34

ses de septiembre y octubre se registraron 482.5 y 697.9 mm, respectivamente, haciendo un total de 1 180.4 mm, es decir, que para el mes de septiembre llovió el equivalente a casi dos veces la media mensual de dicho mes, en tanto que durante octubre se registró una precipitación mayor al 400% de la media correspondiente; y considerando los valores de ambos meses, la precipitación alcanzó el 90% de la media anual.

Como se puede apreciar, a finales de septiembre y principios de octubre, la precipitación registrada fue de 871.9 mm (CFE) en tan solo 16 días, es decir, el equivalente al 66.3% de lo que llueve en promedio en un año (Figura 4). De tal forma que el impacto derivado de este evento de baja frecuencia y alta magnitud fue evidentemente expresado mediante el crecimiento de los niveles de los ríos y sus desbordamientos asociados, los cuales, de acuerdo con los pobladores, no se habían presentado en un periodo aproximado de 50 años.

De acuerdo con la gráfica de anomalía de precipitación (Figura 5) durante el periodo 1962-1998 se presentaron cuatro años con condiciones secas (1962, 1965, 1977 y 1983) y siete años de condiciones húmedas (1969, 1972, 1976, 1981, 1984 y 1992). Entre estos últimos cabe destacar que en 1969, 1972, 1976 y 1992 el régimen de precipitación fue afectado por el fenómeno de El Niño.

El análisis de precipitación de la estación Tecolutla se llevó a cabo con la información disponible de años no continuos. De esta forma se obtuvo una precipitación media anual de 1 528 mm (CFE), la cual fue excedida en 15 de los 34 años analizados, es decir, en un 50%. Entre los años que registraron una precipitación mayor a 2 000 mm cabe destacar: 1954, 1955, 1958 y 1999 (CFE). De manera específica, en septiembre y octubre de 1999 la precipita-

ción fue de 554 y 795 mm, respectivamente (este último no existe en la base de datos de la Comisión Federal de Electricidad, por lo que se calculó un valor aproximado utilizando la ecuación de Gumbel), esto representa una precipitación 1.5 y tres veces mayor que la media mensual de dichos meses.

En el caso de la estación Libertad-Misantla sólo se tienen datos de 18 años debido a que se instaló en 1980. La precipitación media anual de dicha estación es de 1 795 mm (CFE), excedida en el 50% de los años, principalmente en 1981, 1991, 1992, 1995, 1998 y 1999, durante los cuales se alcanzaron valores mayores a los 2 000 mm. En este último año la precipitación de los dos meses más lluviosos, septiembre y octubre, registró 478 y 576 mm, siendo que el promedio mensual para el primero es de 302 mm y para el segundo de 276 mm (CFE). Cabe destacar que entre los días 28 y 13 de octubre hubo una precipitación de 738 mm (CFE), y en particular durante los días 4 y 5 de octubre se registró casi el 50% de la lluvia acumulada durante este periodo.

El fenómeno atmosférico que dio origen a la precipitación ocurrida en los primeros días de octubre fue la interacción entre el frente frío 5 y la depresión tropical número 11; esta última se originó en el sur del Golfo de México a partir de la onda tropical número 35. Debido a los efectos que ocasionó, se le considera como el evento ciclónico de mayor afectación en México durante 1999 (Bitrán 2000), ya que a pesar de que su centro no tocó tierra firme directamente, su cercanía, desplazamiento e interacción con el frente frío, aunado al factor topográfico en la parte oriental y central de México, produjeron lluvias torrenciales, ocasionando inundaciones y procesos de remoción en masa, los cuales afectaron los estados de Veracruz, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco y Oaxaca.

Como se pudo observar, de acuerdo con el régimen hidrológico de la zona, durante los meses de septiembre y octubre existen las mayores probabilidades de que se presenten inundaciones, ya sea estacionales (de alta frecuencia y baja magnitud), o bien extraordinarias (de baja frecuencia y alta magnitud), por lo que es importante fortalecer la comunicación entre las autoridades encargadas de la protección civil municipal y estatal con la población, así como desarrollar adecuadas estrategias de prevención de desastres.

CÁLCULO DE GASTOS MÁXIMOS

Domínguez *et al.* (1990) sugieren que la estimación de la frecuencia de una inundación puede ser calculada mediante el uso de técnicas estadísticas y probabilísticas basadas en gran proporción en los registros históricos de la corriente fluvial en cuestión. Lo anterior permite, de alguna forma, predecir eventos factibles de presentarse con periodos de retorno de 10, 20, 50, 100 años, o inclusive mayores. De tal forma que por ejemplo, una inundación de 50 años implicará la descarga más alta de un río que puede ocurrir una vez cada 50 años. Este tipo de análisis es utilizado principalmente para planeación urbana, la construcción de presas y de estructuras de comunicación. No obstante, cabe mencionar que el periodo de retorno no es más que un concepto meramente estadístico, por lo que no es necesario esperar 50 años para que se produzca una inundación extraordinaria, debido a que muy probablemente en un intervalo de tiempo menor pueda ocurrir un evento de tal magnitud.

De acuerdo con la información de gastos máximos disponibles correspondientes a la estación hidrométrica El Remolino (Tabla 2), la media máxima mensual más alta corresponde a los meses de septiembre y octubre

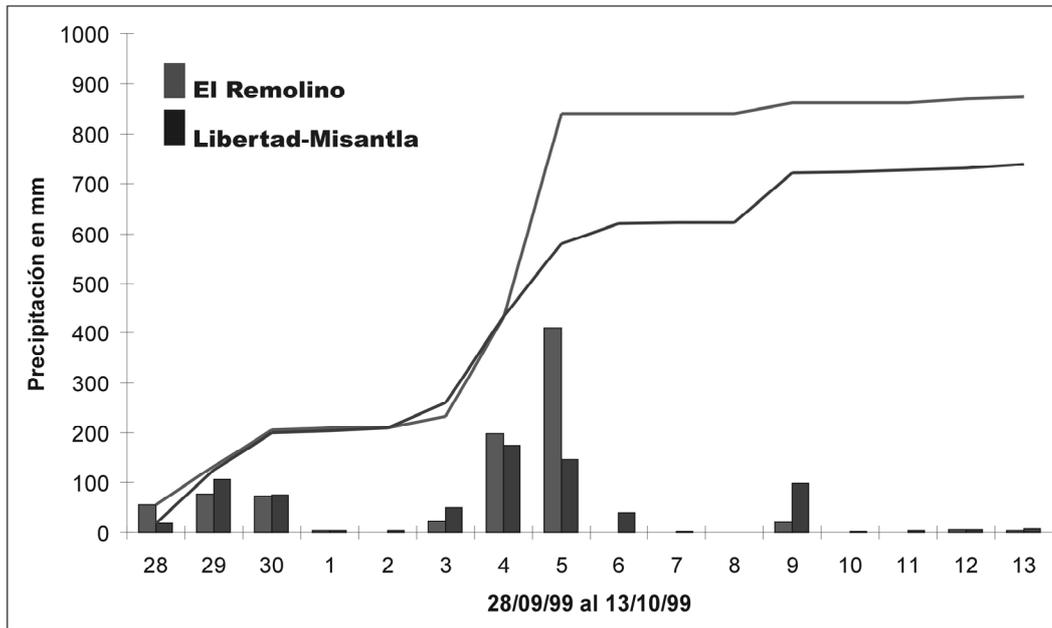


Figura 4. Precipitación acumulada durante septiembre-octubre de 1999 correspondiente a las estaciones meteorológicas El Remolino y Libertad-Misantla (Fuente: CFE).

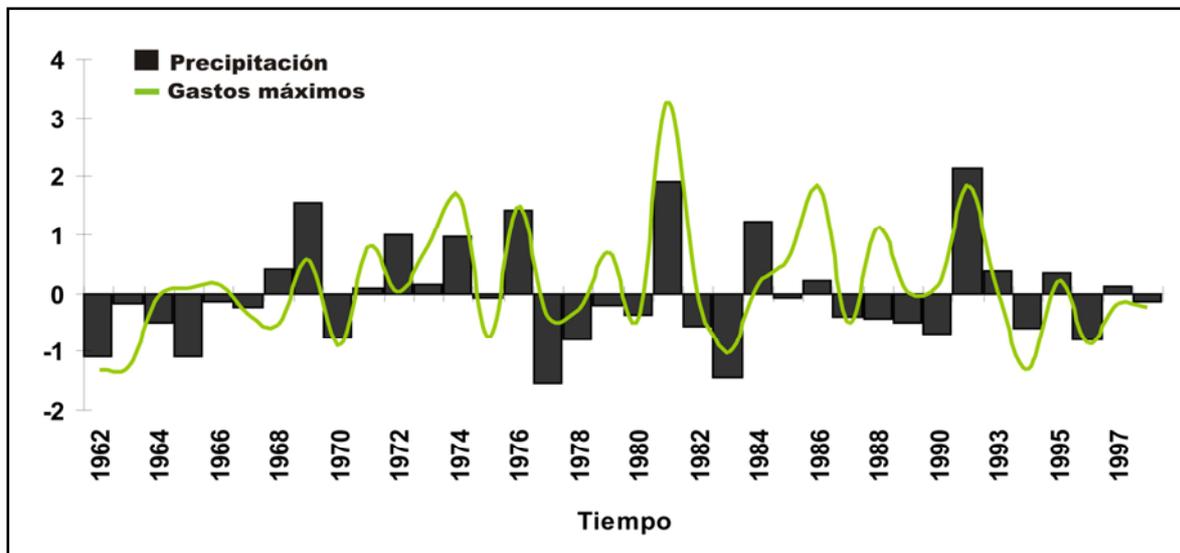


Figura 5. Anomalías de precipitación y gastos de la estación El Remolino durante el periodo 1962-1998.

(Figura 6), con 2 266 y 1 669 m³/seg, en tanto que los años 1974, 1981 y 1986 destacan por haber tenido gastos diarios máximos de 7 491, 8 321 y 7 755 m³/seg, respectivamente (Figuras 5 y 7). De estos últimos cabe destacar agosto de 1981, mes en el que se registró el mayor gasto máximo de todo el periodo.

Con la finalidad de conocer de manera general la dinámica fluvial del curso bajo del río Tecolutla, se calcularon gastos máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 1 000 años, con base en datos de la estación hidrométrica El Remolino a partir de la función de distribución de Gumbel o de valores extremos tipo I considerada en la ecuación (1) propuesta por Domínguez *et al.* (1990):

$$F(q) = p \{ \exp[-\exp(-x + (a_1/c_1))] \} + (1-p) \{ \exp[-\exp(-x + (a_2/c_2))] \} \quad (1)$$

donde:

a y c son parámetros de la función, p la proporción de valores que pertenecen a la primera población respecto al total de valores.

Domínguez *et al.* (*Ibid.*) sugieren que dicha ecuación responde a la necesidad de considerar dos poblaciones que se presentan en las estadísticas de los gastos máximos anuales, debido a que la mayor parte de cuencas en nuestro país, especialmente las del Golfo de México, están sujetas a la actividad ciclónica y al efecto de otras perturbaciones atmosféricas. Basados en tal hipótesis, estos autores proponen el empleo de distintos parámetros para cualquier cuenca ubicada en el Golfo de México y en la cual incidan las perturbaciones atmosféricas (Tabla 3).

Una vez considerados los parámetros incluidos en la Tabla 3, y la función de distribución de la variable q, se realizan los cálculos para poder obtener los gastos máximos a partir de la ecuación (2):

$$F_i(Q) = (A_i + 259)^{0.8} * F(q) \quad (2)$$

Donde A_i es el área de la cuenca en km², en este caso se toma el valor de toda la cuenca del río Tecolutla, ya que la estación hidrométrica registra el escurrimiento proveniente de todos los afluentes ubicados dentro de la misma; Q representa a los gastos máximos anuales y F(q) es la función de distribución de la variable reducida, q, dada por la ecuación 1.

Los gastos máximos con diferente periodo de retorno calculados para el río Tecolutla se presentan en la Tabla 4. De acuerdo con los resultados obtenidos, el gasto máximo esperado para un periodo de retorno de 10 años es de 3 117 m³/seg, en tanto que para periodos de 50 y 100 años es de 12 166 y 14 062 m³/seg, respectivamente. El grado de certeza de dichos cálculos está determinado por la cantidad y calidad de datos disponibles, y por el método empleado. En estudios similares, Pereyra y Hernández (1989), y Pereyra (1993) calcularon, respectivamente, un gasto de 26 350 m³/seg y 31 627 m³/seg para un periodo de retorno de 1 000 años, siendo que en la presente investigación para el mismo periodo se obtuvo un valor de 19 738 m³/seg. La discrepancia entre ambos resultados está en función del método utilizado y del número y tipo de registros considerados en el cálculo. En tanto que Pereyra y Hernández (1989) utilizaron modelos lluvia-escurrimiento considerando datos de precipitación derivados de tormentas específicas, Pereyra (1993) empleó la precipitación máxima probable a partir del modelo del hidrograma unitario instantáneo.

Con base en la información meteorológica disponible, en este estudio se efectuaron cálculos de la precipitación máxima esperada durante 24 horas, de tal modo que de acuerdo con los resultados obtenidos, para eventos con un periodo de retorno de 10 años se esperarían

Tabla 2. Gastos máximos mensuales de la estación hidrométrica El Remolino (CFE)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1962	163	72	77	600	133	891	973	259	1 072	1 052	278	194	1 072
1963	105	69	62	48	132	681	2 067	928	889	370	524	127	2 067
1964	83	74	162	290	416	1 027	646	495	865	1 916	1 541	2 383	2 383
1965	1 572	111	568	583	275	758	1 003	2 271	771	1 636	582	106	2 271
1966	96	153	226	315	318	1 982	1 236	610	3 701	1 459	248	113	3 701
1967	222	172	125	124	228	735	377	1 598	2 882	1 309	711	305	2 882
1968	281	89	113	331	291	1 244	670	1 031	1 452	787	799	1 264	1 452
1969	476	212	153	601	371	159	1 739	2 492	3 952	939	558	164	3 952
1970	103	197	102	86	371	1 163	1 126	1 090	1 295	1 295	188	101	1 295
1971	216	174	368	256	247	478	994	1 960	1 115	4 258	2 069	393	4 258
1972	440	243	580	131	311	2 188	1 937	1 416	1 023	1 031	507	227	2 188
1973	108	259	165	80	910	1 798	1 700	4 415	975	1 561	217	406	4 415
1974	289	135	86	669	98	1 802	1 522	629	7 491	1 120	1 172	254	7 491
1975	151	491	95	85	74	276	579	780	3 049	1 504	209	303	3 049
1976	691	344	439	281	1 417	1 914	1 835	1 611	2 543	3 188	375	174	3 188
1977	261	162	102	82	617	520	1 120	608	406	1 383	2 892	531	2 892
1978	88	83	374	86	160	1 505	892	972	1 246	2 622	1 018	132	2 622
1979	162	201	99	380	669	1 469	373	3 198	3 621	522	1 380	219	3 621
1980	210	172	298	598	110	434	205	598	3 467	1 678	368	450	3 467
1981	502	310	122	316	916	2 398	1 412	8 321	3 031	1 511	415	1 191	8 321
1982	182	247	188	2 360	484	207	639	592	1 948	1 366	1 191	144	2 360
1983	265	90	84	65	86	278	1 406	905	1 444	961	774	421	1 444
1984	337	119	72	59	1 074	1 210	1 689	1 121	3 024	1 351	238	178	3 024
1985	97	489	1 338	337	304	1 725	1 233	1 248	1 160	2 847	176	916	2 847
1986	140	85	76	441	374	1 425	689	313	883	3 447	7 755	214	7 755
1987	104	92	153	80	260	829	2 384	1 595	1 850	709	214	151	2 384
1988	118	136	201	1 719	272	1 814	982	760	5 782	920	711	173	5 782
1989	132	1 317	83	97	167	105	731	742	4 481	874	920	426	4 481
1990	705	116	143	554	596	453	926	2 130	1 973	1 623	697	528	2 130
1991	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
1992	334	285	291	456	1 208	835	843	2 905	3 179	3 740	1 674	162	3 740
1993	177	307	117	898	474	1 290	1 657	1 220	1 436	1 557	807	131	1 657
1994	86	393	100	181	242	221	326	935	1 389	1 253	417	242	1 389
1995	242	242	212	75	648	387	1 270	1 220	1 323	3 247	1 497	357	3 247
1996	125	173	148	1 546	227	1 029	420	1 220	741	420	792	422	1 546
1997	108	437	1 329	635	378	545	1 033	263	1 993	1 569	1 009	127	1 993
1998	390	86	66	46	51	44	1 245	396	2 265	3 049	1 330	254	3 049
1999	146	130	107	146	281	977	1 540	948	4 119	nd	nd	nd	4 119

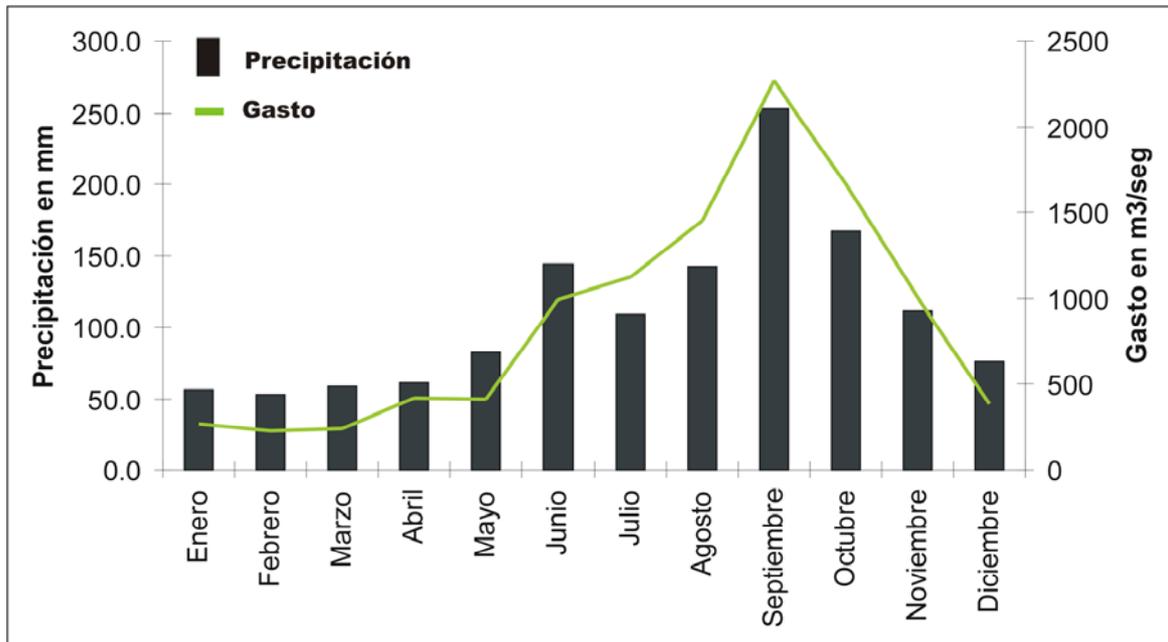


Figura 6. Gastos medios máximos mensuales para periodos de 24 horas de la estación hidrométrica El Remolino (Fuente: CFE).

precipitaciones máximas de 216.6 mm en 24 horas, en tanto que para periodos de retorno de 50, 100 y 1 000 años, se calcularon valores de 300.9, 336.6 y 454.3 mm, respectivamente (Tabla 4).

INUNDACIONES Y MORFOLOGÍA FLUVIAL

Los peligros por inundaciones son generados cuando grupos humanos se desarrollan en sitios naturalmente susceptibles a ser inundados, especialmente en las llanuras de inundación. La dinámica de una corriente fluvial implica la existencia de distintos elementos morfológicos que cumplen una función en los procesos involucrados, de tal manera que como resultado de la interacción entre procesos acumulativos, de transporte y erosivos se produce el modelado de distintos tipos de lechos fluviales.

Para el propósito de este trabajo fue necesario

delimitar las áreas susceptibles a inundación a partir de la identificación de la morfología que presenta un sector del río Tecolutla, el cual determina en gran medida los niveles de crecida y, por consiguiente, las zonas potenciales de inundación. De tal manera que el análisis de las formas fluviales tuvo como base la elaboración de perfiles topográficos transversales a lo largo del cauce, por lo que se identificaron cuatro tipos de lechos fluviales. Estos últimos se desarrollaron tomando en consideración la clasificación modificada de Ortiz (1979): lecho menor, lecho mayor ordinario, lecho mayor extraordinario y lecho mayor excepcional.

Dicha categorización incluye el lecho menor o cauce por donde corre el agua de un río en épocas de estiaje, incluyendo el canal; sus márgenes están bien definidas y presenta una alternancia de zonas hundidas y de fondos altos (umbrales) que pueden llegar a formar islas fluviales. El lecho mayor ordinario es el

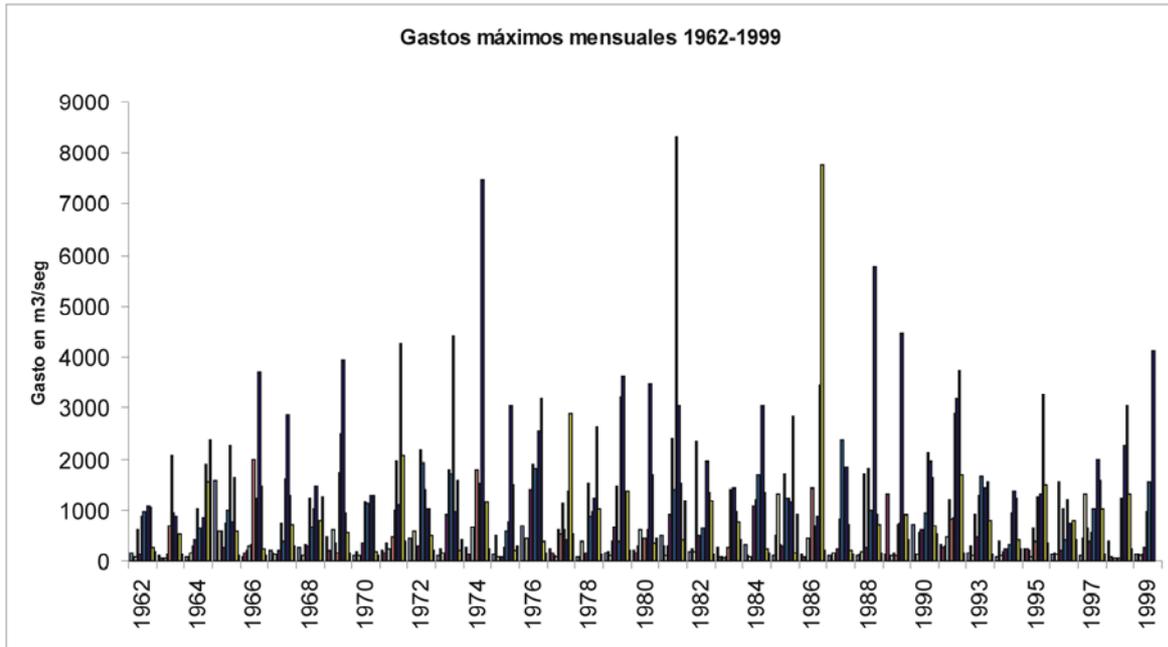


Figura 7. Gastos máximos mensuales registrados en 24 horas del periodo 1962-1999 de la estación hidrométrica El Remolino (Fuente: CFE).

Tabla 3. Parámetros utilizados en el cálculo de gastos máximos en cuencas del Golfo de México (Domínguez *et al.*, 1990).

Parámetros	Valor
p	0.93
a ₁	-0.4
a ₂	-7.5
c ₁	0.6
c ₂	1.9

cauce del río que es cubierto por el agua en época de máximo caudal anual, es una zona que se inunda todos los años; este lecho ofrece un perfil transversal alomado, debido a los resaltes de ribera que dominan el lecho menor, hasta el punto de que pueden aparecer contrapendientes que aíslan pequeñas depresiones longitudinales. De acuerdo con Romo y Ortiz (2001), tanto el lecho menor como el mayor ordinario corresponden a fases de estabilidad

del cauce, debido a la inexistencia de flujos que de alguna manera modifiquen el lecho del río.

El lecho mayor extraordinario se caracteriza por ser la zona que se inunda en la fase de niveles altos o crecidas ordinarias, en tanto que el lecho mayor excepcional es la zona de inundación de un río en las grandes crecidas. Esta área del río sólo se ve afectada por aquellas crecidas que presentan periodos de

Tabla 4. Gastos máximos calculados para el río Tecolutla

Periodo de retorno (años)	Gasto máximo esperado (m ³ /seg)	Precipitación máxima esperada en 24 hr (mm)	Probabilidad de que suceda en cualquier año (%)	Probabilidad de frecuencia
2	873	120.5	50	Muy alta
10	3 117	216.6	10	Alta
50	12 166	300.9	2	Media
100	14 062	336.6	1	Baja
1 000	19 738	454.3	0.1	Muy baja

retorno muy altos (100, 1 000, 5 000 años, etc.), por lo que es común que esté cubierto por vegetación, además, habitualmente presenta áreas agrícolas y asentamientos humanos. En este último nivel, el gasto del escurrimiento se incrementa de forma acelerada y se presentan las máximas velocidades de flujo al elevarse el esfuerzo cortante ejercido sobre el lecho del canal, esto último se expresa mediante la excavación acelerada derivada de la erosión lineal en el fondo, con la consecuente movilización de la carga de fondo y la rápida socavación de las riberas (Ortiz, 1979; Romo y Ortiz, 2001).

Para el caso del río Tecolutla la elaboración de los perfiles antes mencionados se llevó a cabo a partir del modelo digital de elevación mediante la utilización del software AutoCAD Map 2000. Gracias a la utilización de las secciones fue posible observar cambios en la pendiente, mismos que fueron asociados con los diferentes lechos existentes en el cauce del río Tecolutla, resultado de la ocurrencia de diferentes episodios de crecidas que se han presentado en el área a lo largo de la historia.

A partir del establecimiento de los lechos fluviales fue posible determinar la extensión de las zonas susceptibles a inundación para gran proporción del curso bajo del río en cuestión (Figura 8). Sin embargo, debido a la resolución del modelo digital empleado (con píxeles de 20 m) y de la morfología fluvial, cabe aclarar que no fue posible realizar e incorporar datos derivados de perfiles localizados en la desembocadura del río. Dicha zonificación fue plasmada en un mapa de susceptibilidad a inundaciones (Figura 9) y correlacionada con los datos obtenidos del cálculo de gastos máximos para periodos de retorno específicos.

El nivel de susceptibilidad bajo corresponde al lecho mayor excepcional, donde se presentan crecidas con periodos de retorno mayores a 100 años (Figura 9), y de acuerdo con la zonificación elaborada cubre un área de 11 km². Cabe desatacar que esta zona fue afectada por la inundación ocurrida en el año de 1999 en el río Tecolutla, razón por la cual se consideró como un evento de gran magnitud. Esta área de nivel de susceptibilidad a inun-

daciones bajo comprende principalmente localidades que forman parte del municipio de Gutiérrez Zamora. En el nivel de susceptibilidad medio se encuentra la zona correspondiente al lecho mayor extraordinario que cubre una extensión de 10 km²; éste se ve afectado por avenidas con periodos de retorno que generalmente van de 50 a 100 años (Figura 9). Dichas crecidas afectan principalmente zonas agrícolas ubicadas dentro de la planicie de inundación del río Tecolutla, además de localidades como San Antonio Coronado; cabe mencionar que en este poblado el nivel del agua alcanzó 6 m aproximadamente, tanto que viviendas de dos niveles fueron cubiertas totalmente por dicha crecida. El lecho mayor ordinario se encuentra considerado en el nivel de susceptibilidad alto (Figura 9), ya que en esta zona se presentan crecidas con periodos de retorno entre 10 y 50 años; tiene una extensión de 8 km², y de acuerdo con los datos de gastos máximos de la estación el Remolino, entre 1962 y 1999 en él han ocurrido 14 crecidas de esta índole.

El nivel de susceptibilidad muy alto (Figura 9), se caracteriza por involucrar avenidas con periodos de retorno que van de 2 a 10 años, los cuales principalmente se presentan de manera frecuente en el lecho menor y ocasionan daños mínimos en la población, ya que son considerados eventos estacionales que representan poco peligro para las localidades; esta área ocupa 6 km². De acuerdo con la información de gastos máximos analizada, se han presentado 21 crecidas que se encuentran dentro del rango de los gastos correspondientes a tales periodos de retorno.

DELIMITACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA

Con la idea de analizar desde otra perspectiva

los resultados de la delimitación de áreas susceptibles a inundación, se llevó a cabo una comparación visual de estas últimas con las zonas afectadas durante el evento de octubre de 1999, a través de técnicas de percepción remota. La metodología empleada incluyó el análisis de las bandas 4-3-2 de dos imágenes de satélite Landsat ETM y ETM+ correspondientes a los meses de octubre de 1989 y octubre de 1999, y con una resolución espacial de 25 y 30 m, respectivamente. Cabe destacar que las imágenes Landsat ETM de 1989 fueron proporcionadas por el Instituto de Geografía de la UNAM a una resolución espacial de 25 metros, debido a un tratamiento efectuado previamente.

La combinación de las bandas 4-3-2 permite observar, en tonos rojos, la vegetación que presenta la zona en estudio, la cual, asociada a la morfología fluvial, permite establecer la zona de impacto de la inundación de octubre de 1999 a partir de la diferenciación de las dos imágenes y de su clasificación (Figura 10). De esta forma fue posible observar que el mapa elaborado a partir de criterios morfológicos fluviales presenta una gran similitud con las zonas afectadas en 1999. De manera similar existe una estrecha relación al comparar la zonificación derivada de la imagen de 1989 con la zona que presenta susceptibilidad muy alta. Cabe destacar que el gasto máximo ocurrido en la fecha correspondiente a la mencionada imagen de satélite fue de 874 m³/seg, lo cual concuerda con el gasto máximo esperado para un periodo de retorno de dos años.

Por otra parte, como se había mencionado anteriormente la zona afectada por la inundación de 1999 coincide con la zona correspondiente al lecho mayor excepcional, en la cual se presentan las crecientes de gran magnitud. Sin embargo, es importante señalar que no fue posible comparar el gasto máximo de la crecida

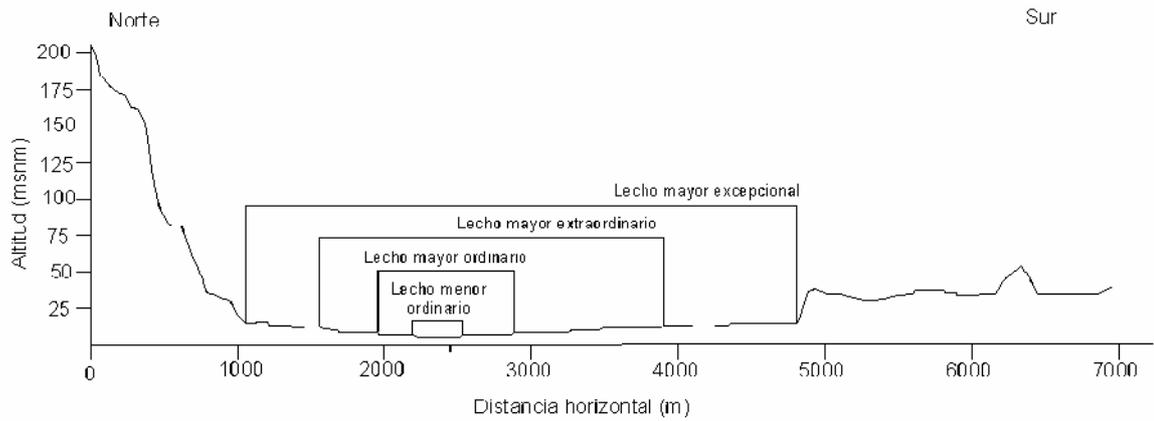


Figura 8. Perfil transversal y delimitación de lechos fluviales de un sector del curso bajo del río Tecolutla.

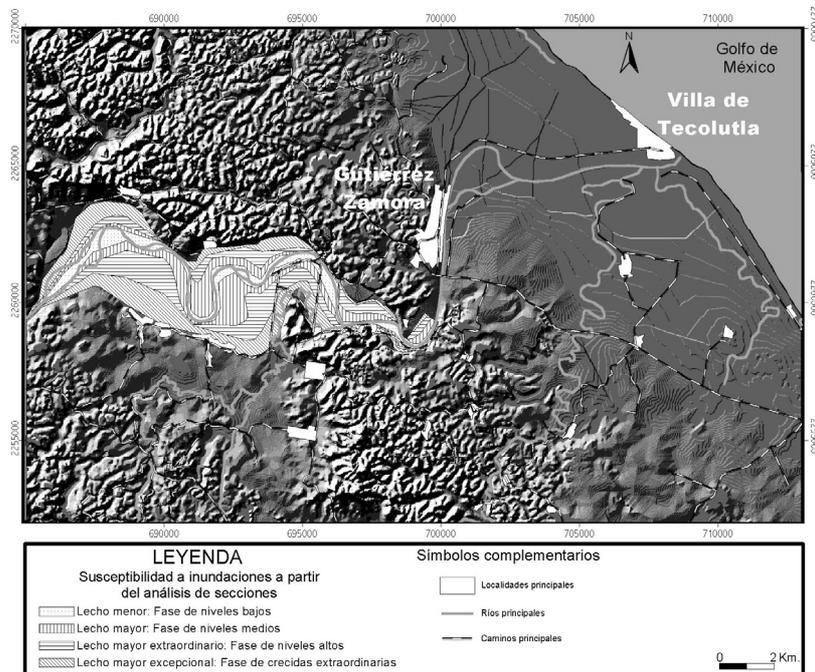


Figura 9. Mapa de susceptibilidad a inundaciones del curso bajo del río Tecolutla.

da de 1999 con el obtenido a partir del análisis de gastos máximos, debido a la desaparición de la estación hidrométrica El Remolino.

VULNERABILIDAD

La determinación del riesgo por inundaciones es fundamental, ya que permite conocer el nivel o grado de exposición de la población ante estos tipos de peligros. Para conocer el riesgo es importante analizar dos factores muy importantes: el peligro y la vulnerabilidad. En el caso de la presente investigación, el peligro está representado por la delimitación de zonas susceptibles a inundaciones, en tanto que la vulnerabilidad se analiza en función de las características socioeconómicas de la población involucrada.

La vulnerabilidad, según Cannon (1994), es una condición de la población o de los individuos en función de sus características económicas y sociales en las que se desarrolla, además de su localización geográfica, lo cual los hace más o menos susceptibles a ser afectados por un fenómeno natural.

El estudio de la vulnerabilidad social implica el análisis de los diversos factores socioeconómicos que determinan el grado de condiciones desfavorables o precarias de la población, las cuales tienen un impacto directo en la capacidad de respuesta ante los efectos producidos por un peligro natural, dado que las comunidades con condiciones de vida deficientes requieren ayuda externa para poder sobreponerse a un evento, inclusive de baja magnitud. Para determinar la vulnerabilidad de las localidades ubicadas dentro del área en estudio, se elaboró un índice en el que se incluyeron 17 variables de población y vivienda del municipio de Tecolutla, que reflejan el grado de susceptibilidad de las diferentes comunidades que lo constituyen (Garnica, 2003). Dicha información se obtuvo del

XII Censo de Población y Vivienda (INEGI 2000c), de los sistemas SCINCE y CONTAR-ITER (2000).

El índice se desarrolló a partir de áreas geoestadísticas básicas (AGEB's), las cuales están delimitadas por rasgos culturales y naturales, permanentes e identificables en el terreno, con una extensión convencional al interior de cada municipio del país (INEGI, 1998). De esta forma, el grado de vulnerabilidad se efectuó tomando en cuenta sólo a las AGEB's que se localizan dentro del curso bajo del río Tecolutla, y que corresponden al 44% de la población total del municipio (Tabla 5).

Las variables seleccionadas corresponden a los campos de población, educación, empleo y vivienda, e incluyen: población de 0-14 años, población sin servicios de salud, población con discapacidad, población de 6-14 que no sabe leer, población de 15 años y más analfabeta, población económicamente inactiva, población que recibe menos de un salario mínimo, población que recibe de uno a dos salarios mínimos, viviendas particulares que cuentan con techos construidos con materiales ligeros o de desecho, viviendas particulares que cuentan con paredes construidas con materiales ligeros o de desecho, viviendas particulares que no cuentan con servicio sanitario, viviendas particulares que no cuentan con servicios básicos (agua, energía eléctrica, drenaje) y viviendas que no cuentan con bienes.

El índice de vulnerabilidad se efectuó tomando como base el método estadístico de componentes principales; de esta forma se determinaron tres rangos de vulnerabilidad para las AGEB's pertenecientes al municipio de Tecolutla y ubicadas dentro del área en estudio: alta, media y baja (Tabla 6).

La vulnerabilidad alta se caracteriza por presentar los niveles más bajos de bienestar en los diferentes aspectos que fueron tomados

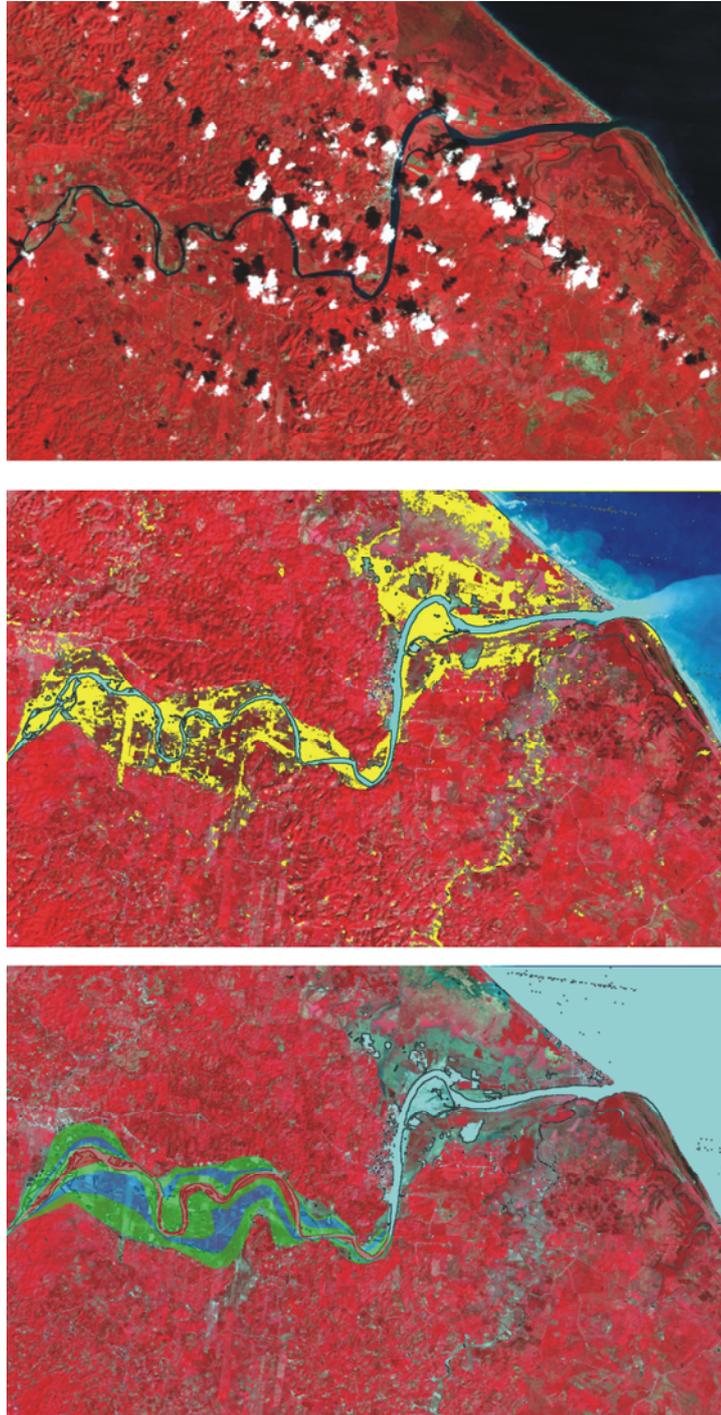


Figura 10. Áreas susceptibles a inundación del curso bajo del río Tecolutla: (a) Fase estable del cauce principal en 1989; (b) Áreas afectadas durante octubre de 1999; (c) Zonificación de zonas susceptibles con base en criterios morfológicos.

en cuenta para el análisis. Es decir, son las personas las que presentan las condiciones más precarias; familias compuestas en su mayoría por niños o ancianos, donde se observan los niveles más bajos de educación e incluso los miembros de la familia nunca recibieron instrucción alguna. No cuentan con servicios de salud. Además, se encuentran en empleos en donde perciben ingresos muy bajos o que incluso no obtienen salario alguno. Las viviendas se caracterizan por estar construidas con materiales susceptibles a fenómenos naturales de cualquier magnitud, además de que no cuentan con los servicios básicos. Estas poblaciones son las que requieren mayor atención en el caso de la ocurrencia de algún peligro natural, por lo que es primordial desarrollar e implementar medidas de prevención adecuadas.

En el nivel de vulnerabilidad media, la población se encuentra en la transición entre los niveles de bienestar altos y bajos, por lo que su capacidad, tanto de prevención como de reacción, dependerán en gran parte de la magnitud del proceso, un evento de gran magnitud traería una recuperación lenta, en cambio un fenómeno de magnitud menor podría ser enfrentado pero con algunas deficiencias.

Finalmente, los niveles bajos de vulnerabilidad representan niveles más óptimos de bienestar. La población cuenta con los niveles más altos de educación, ingresos, viviendas y situación social. Esto le permite, primero, tener mayor acceso a planes de prevención en los cuales toda la población está involucrada y, segundo, en el caso de la ocurrencia de un evento, es factible hacer frente a situaciones de desastre, incluso de grandes magnitudes.

Como se puede observar en el mapa de vulnerabilidad (Figura 11), en el área en estudio predomina una vulnerabilidad media, exceptuando las AGEB's 0001 (Villa de Tecolutla) y 010-0, la primera presenta el nivel más bajo de vulnerabilidad debido principalmente a su posición como cabecera municipal, lo cual ha conllevado al desarrollo de la actividad turística, y por ende a una mayor concentración de población. Además de que debido a su ubicación, sobre la planicie aluvial, es posible el abastecimiento de servicios básicos, principalmente agua potable, drenaje y energía eléctrica. De manera contrastante, la AGEB 010-0 presenta el índice de vulnerabilidad más alto de la zona, debido a que esta área está formada en gran porcentaje por ranchos aislados con pocas viviendas, que generalmente no cuentan con servicios básicos. Por

Tabla 5. Población incluida en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGRB's) analizadas, en relación con la población del municipio de Tecolutla

AGEB	Población total	Porcentaje con respecto a la población total municipal	Porcentaje con respecto a la población total de las AGEB's
010-0	67	0.26	0.60
001-1	2358	9.18	21.06
003-0	2678	10.43	23.92
004-5	2297	8.94	20.51
Tecolutla	3797	14.79	33.91
Totales	11197	43.60	100.00

último, cabe destacar que las zonas de vulnerabilidad media se caracterizan por la presencia de localidades que cuentan con una baja densidad de asentamientos humanos aislados de la cabecera municipal, y como consecuencia no reciben la atención necesaria en cuanto al abastecimiento de servicios básicos (Tabla 6).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las inundaciones representan un peligro potencial muy importante en el estado de Veracruz y de manera particular en las inmediaciones del río Tecolutla, debido al impacto que han ocasionado y pueden seguir generado en las poblaciones existentes. De tal forma que la elaboración de mapas de susceptibilidad a inundación y el análisis de la vulnerabilidad representan una herramienta

fundamental para el entendimiento del riesgo derivado de dicho peligro.

En esta investigación fue posible analizar las áreas de impacto potencial por inundación en el curso bajo del río Tecolutla tomando en cuenta tanto el peligro, como la vulnerabilidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, el 43.6% de la población total del municipio se encuentra ubicada en el área de influencia del curso bajo del río Tecolutla. De esta población, dos terceras partes está sujeta a condiciones de vulnerabilidad media y alta, lo cual representa aproximadamente el 30% de la población total municipal, por lo que el efecto de inundaciones potenciales es evidente.

El nivel de riesgo por inundaciones dentro de esta zona es muy alto debido, por un lado, al régimen hidrológico existente y a sus carac-

Tabla 6. Nivel de vulnerabilidad por AGEB y localidades afectadas

AGEB	Localidades	Vulnerabilidad
010-0	El Cristo, La Gloria, Huerto El Triunfo, Palo Hueco, Club de Pesca El Sabelo, Finca el Establo, Fracción Las Palmas, Las Palmas, Rancho Lagartos, Santa Higinia y Santa Teresa.	Alta
001-1	Barra Boca de Lima, Boca de Lima, El Cabellal, Finca los Cerritos, La Florida, El Manantial, Plan de Ayala, Rancho Hermanos García, Rancho La Gloria, Río Blanco, Sto. Domingo, 3 Cruces, Vista Hermosa (El Aguacate), Isla de Doña María, Arroyo Cafetal, Hermanos Córdoba, Las Palmas, Rancho López, Crispín González y La Aurora.	Media
003-0	Ampliación Anclón Arenal, Chichicatzapán Méndez, La Gloria, José Ma. Pino Suárez, La Libertad, Los Mangos, Mesa del Tigre, Paso de Hidalgo, Paso Real, Pino Suárez, Plan de Carrizo, Vista Hermosa Calichal y Los Gómez.	Media
004-5	Cruz de los Esteros, El Embarcadero, Lázaro Cárdenas, La Nueva Guadalupe, Paso del Río, Plan de Villa Cuauhtémoc, La Victoria, Colonia Díaz Mirón, Augusto G. Villanueva, Ejido El Paraíso y La Pomorosa.	Media
Tecolutla (urbana)	Villa de Tecolutla.	Baja

terísticas morfológicas (ya que presenta alta susceptibilidad a crecidas asociadas a distintos periodos de retorno), y por otro, como consecuencia de las condiciones sociales y económicas de la población expresadas mediante altos niveles de vulnerabilidad. Dicha situación se vio reflejada en el impacto originado por el desastre ocurrido a principios de octubre de 1999, el cual produjo pérdidas económicas estatales de 2 787 millones de pesos (Bitrán, 2000), así como un número indeterminado de víctimas.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el municipio de Tecolutla se encuentra localizado en un marco en el cual la combinación de factores físicos y sociales determina distintos niveles de riesgo de la población a las consecuencias derivadas

de potenciales inundaciones. Sin embargo, el grado de certidumbre de dichos análisis está en función no solamente de la elección y aplicación de una metodología correcta, sino también de la disponibilidad de datos históricos y de la calidad de instrumentos a emplear, como por ejemplo, los modelos digitales del terreno y las imágenes de satélite.

En el caso específico del curso bajo del río Tecolutla, los datos existentes de precipitación no corresponden en su totalidad a periodos continuos, ni tampoco comprenden periodos largos de tiempo. Aunado a ello, la información referente a gastos diarios también dista de ser completa, ya que frecuentemente se obtienen series de información discontinuas, lo cual obedece en gran medida a las características de funcionalidad de las estaciones hi-

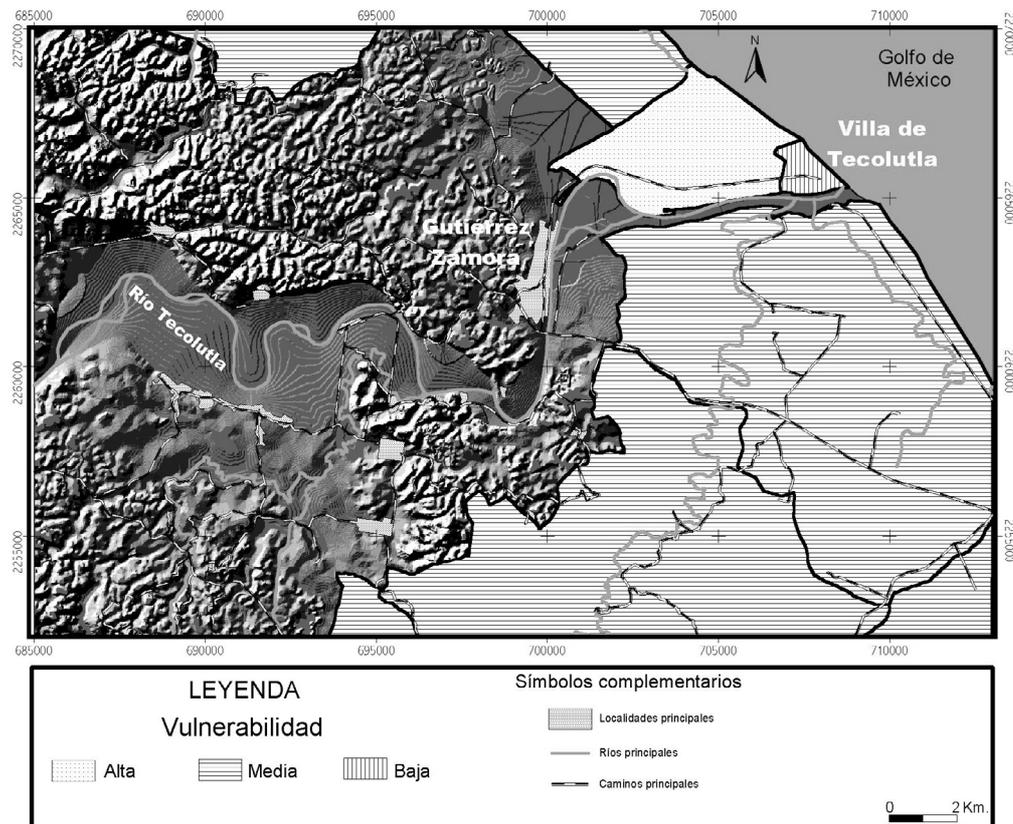


Figura 11. Mapa de vulnerabilidad de las localidades ubicadas en el curso bajo del río Tecolutla.

drométricas en cuanto a certeza de datos y tiempo de registro. No obstante, es importante resaltar que la utilización de criterios morfológicos en combinación con los cálculos de gastos máximos y diferentes periodos de retorno, así como el análisis de imágenes de satélite permitió el establecimiento de zonas críticas y de escenarios potenciales asociados a inundaciones de distinta magnitud del curso bajo del río Tecolutla.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se efectuó en el marco del Proyecto CONACYT J33428-T "Inestabilidad de laderas y riesgos asociados: estrategias de prevención de desastres para la región Puebla-Veracruz", por lo que los autores agradecen el apoyo otorgado. Algunos de los datos históricos de desastres naturales asociados a inundaciones fueron facilitados por ODFA/CRED International Disaster Database Center for Research into the Epidemiology of Disasters (CRED), Catholic University of Louvain, Belgium (<http://www.md.ucl.ac.be/cred>). De la misma manera se reconocen los valiosos comentarios de los dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

Bitrán, D. (2000), *Características del impacto socio-económico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99*, CENAPRED, México.

Bocco G., R. Sánchez y H. Riemann (1995), "GIS affects flood planning efforts", *GIS World* 8, no. 2, pp. 58-60.

Cannon, T. (1994), "Vulnerability analysis and the explanation of "Natural" disasters", in Valey (1994), *Disasters, Development and environment*, John Wiley & Sons, pp. 13-30.

Castillo, M. (2000), *Análisis geográfico del municipio de Tecolutla, Veracruz, 1999*, tesis de Licenciado en Geografía, UNAM, México.

Delgado C. D. y G. V. Isuhuaylas (2001), "Análisis de gran visión de las inundaciones en la cuenca alta del río Lerma: caso de la subcuenca del río Tejalpa, Estado de México, México", *Ingeniería Hidráulica en México*, 16, núm. 1, pp. 73-86.

Domínguez, R., R. Martínez y M. T. Vázquez (1990), *Análisis regional para caracterizar estadísticamente los gastos máximos anuales en zonas sujetas a la incidencia directa de ciclones*, CENAPRED, México.

Domínguez, R., O. Fuentes y F. García (1999), *Inundaciones*, Serie Fascículos No. 3, CENAPRED, México.

Garnica, R. (2003), *Riesgos por inundaciones e inestabilidad de laderas en el municipio de Tecolutla, Veracruz*, tesis de Licenciado en Geografía, UNAM, México.

Hudson P. F. y R. R. Colditz (2003), "Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Pánuco basin, Mexico", *Journal of Hydrology* 280, no. 1-4, pp. 229-245.

INEGI (1984), *Carta de efectos climáticos E14-12 Poza Rica*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (1998), *NIBA Niveles de Bienestar por AGEB (Área Geoestadística Básica)*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000a), *SCINCE Sistema de Consulta de Información Censal 2000*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000b), *CONTAR 2000 Sistema de Consulta de Tabulados y Bases de Datos*, ITER Integración Territorial, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000c), *XII Censo General de Población y Vivienda*, Tabulados Básicos, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Noman N. S., E. J. Nelson y A. K. Zundel (2003), "Improved process for floodplain delineation from digital terrain models", *Journal of Water Resources Planning and Management* 129, no. 5, pp. 427-436.

- OFDA-CRED Database. <http://www.md.ucl.ac.be/cred>.
- Olsen, J. R., P. A. Beling y J. H. Lambert (2000), "Dynamic models for floodplain management", *Journal of Water Resources Planning and Management* 126, no. 3, pp. 167-175.
- Ortiz, M. A. (1979), "Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del río Grande de Santiago, Nayarit", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 9, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 65-92.
- Ortiz, M., O. Oropeza, A. Palacio y A. D'Luna (1992), "Zonas susceptibles a desastres por fenómenos naturales. Inundaciones", Hoja, V.2.9, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM.
- Pereyra, D. y A. Hernández (1989), "Avenida de diseño: cuando no se tiene registros hidrométricos en el sitio del proyecto", *GEOS, Bol. Unión Geofís. Mex.*, 9, pp. 95-102.
- Pereyra, D. (1993), "Estimation of the design flood of Tecolutla River, Mexico, using the probable maximum rainfall", *Geofísica Internacional* 32, no. 1, pp. 35-39.
- Romo, M. y M. A. Ortiz (2001), "Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 45, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-23.