

# Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz

Azucena Pérez Vega\*  
Mario Arturo Ortiz Pérez\*

Recibido: 14 de septiembre de 2001  
Aprobado en versión final: 21 junio de 2002

**Resumen.** El estudio mostró que el incremento en los gastos máximos hidrométricos en las subcuencas de la margen derecha del río Papaloapan es consecuencia de la pérdida de la cubierta forestal original en superficies menores a 6° de pendiente registrada en las subcuencas de los ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista, cuya pérdida forestal oscila desde 21 % y hasta 43% con relación a la superficie total de cada subcuenca para el período 1973-1993. El análisis de los datos de precipitación total anual indica que dichas subcuencas no presentan cambio alguno en la tendencia de la precipitación entre 1955-1990.

**Palabras clave:** Inundación, cambio de cubierta vegetal, gastos hidrométricos.

## Vegetation change and flood vulnerability in the Papaloapan river lowlands, Veracruz

**Abstract.** The study showed that the increase in maximum flows in the watersheds of the left side of the River Papaloapan is due to forest cover clearing on shallow slope areas (less than 6°) in the watersheds of the rivers Obispo, Tesechoacan and San Juan Evangelista. Forest clearing affected from 21 to 43 % of the total area of each watershed during the period 1973-1993. The analysis of annual rainfalls in these watersheds indicated no change in rainfall tendency during 1955-1990.

**Key words:** Flood, vegetation cover change, rainfall.

**Key words:** Flood, vegetation cover change, rainfall.

sobre la cubierta vegetal.

### INTRODUCCIÓN

Según algunas estimaciones a nivel mundial, las inundaciones provocan las mayores pérdidas en vidas humanas en comparación con otros fenómenos naturales (Kingma, 1990). En nuestro país constituyen uno de los fenómenos que causan anualmente pérdidas humanas, destrucción de viviendas y afectaciones en las actividades económicas en las localidades establecidas en áreas con riesgo natural de ser inundadas.

El peligro que ejercen las inundaciones sobre los elementos humanos presenta actualmente mayores dimensiones de lo que manifestaba en tiempos pasados, resultado de las alteraciones que el hombre realiza

En México el estado que registra la mayor frecuencia de inundaciones es Veracruz, cuyo índice alcanza de 3.5 inundaciones por año (Ortiz *et al.*, 1991). También es el estado que concentra el mayor volumen de agua superficial, ya que sus ríos descargan al mar más del 30% del caudal de todos los ríos del país, destacando entre ellos el Papaloapan (CNA, 1990).

La cuenca del Papaloapan conduce un gasto medio anual de 681.00 m<sup>3</sup>/s, lo cual corresponde al 30.8% del total del estado de Veracruz (SARH.1993). Los gastos hidrométricos altos del Papaloapan producen en la llanura baja de esta cuenca, el desarrollo de

\*Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: maop@igiris.igeograf.unam.mx

inundaciones con una probabilidad de 1.2 al año (Fuentes *et al.*, 1994); es decir, todos los años se inunda, alcanzando en algunos sitios la altura de 1 m e inundaciones extraordinarias de hasta 2 m de tirante en un período de retorno de 25 años.

Los procesos de inundación en la llanura baja del Papaloapan han afectado y continúan haciéndolo, a las actividades económicas primarias, como la agricultura de caña de azúcar, la cual tiene gran importancia económica en la región, y a los cultivos de manutención como el maíz, el frijol, el chile y el arroz, además de cultivos de frutales como el mango, el plátano y la piña, que ocupan superficies pequeñas en comparación con las extensiones cañeras. La actividad agrícola en la zona se alterna con el desarrollo de pastos para la producción ganadera (Jacome, 1979).

Según el censo de 1995 (INEGI, 1997), el estado de Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional en producción cañera y el primer lugar en cabezas de ganado bovino. El bajo Papaloapan produce el porcentaje más alto de caña de azúcar cultivada en el país, la cual es procesada en el ingenio de San Cristóbal, el más grande del país, ubicado en las márgenes del bajo Papaloapan.

Actualmente la cuenca del Papaloapan alberga una población de 2 078 703 habitantes, de los cuales 1 162 022 se ubican en el estado de Veracruz (56%); 541 835 (26%) en Oaxaca y 374 846 (18%) en el estado de Puebla, lo que conlleva, según la superficie expuesta para cada estado en la cuenca del Papaloapan, una densidad de población de 67, 23 y 67 hab/km<sup>2</sup>, respectivamente (INEGI, 1995).

Son 26 los municipios que constituyen el bajo Papaloapan, de ellos, trece son afectados anualmente por las inundaciones: Acula, Amatitlán, Carlos A. Carrillo, Cosamaloapan, Chacaltianguis, José Azueta, Otati-

tlán, Playa Vicente, San Juan Evangelista, Saltabarranca, Tlacojalpan, Tlacotalpan y Tuxtilla. Todos ellos quedan dentro de los límites de la entidad veracruzana.

El 53% de la población del estado de Veracruz vive y desarrolla sus actividades económicas en la llanura baja del río Papaloapan y un 13.4% de esta población estatal es afectada anualmente por las inundaciones, en lo que corresponde a los trece municipios mencionados anteriormente (Morales y Méndez, 1997).

## ÁREA EN ESTUDIO

La cuenca del Papaloapan alcanza un área aproximada de 46 517 km<sup>2</sup> (SRH, 1975), lo cual corresponde al 2.4% de la superficie total del país. El 51% de la superficie de la cuenca del Papaloapan corresponde al estado de Oaxaca, el 35% al de Veracruz y el 12% al de Puebla.

La clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (1988) indica que la zona en estudio presenta la categoría de clima cálido, el más húmedo de los que presentan lluvias en verano (Aw2; García, 1988). La temperatura media anual mayor en la planicie costera es de 24° C, con temperaturas mínimas medias anuales de 18° C en los macizos montañosos de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Mixteca.

El gran volumen de agua superficial en la cuenca del Papaloapan es generado por lluvias estacionales, así como por lluvias de origen ciclónico provenientes del Golfo de México y el Océano Pacífico. Estos fenómenos aportan una gran cantidad de agua de escorrentía, la cual se desplaza en lo que constituye la cuenca del Papaloapan, cuya posición noreste-suroeste coincide con la dirección de los vientos alisios, condición que favorece aún más el acopio de humedad.

La cuenca del Papaloapan coincide con una de las áreas que registran mayor concentración de precipitación de toda la República Mexicana, tiene una precipitación media anual mayor a 3 000 mm en el curso medio y alto de la cuenca (CNA, 1992).

Los escurrimientos que dan formación a los principales cursos fluviales se originan en las sierras de Oaxaca (Sierra de Cuicatlán, Tamazulapa, Nochistlán y Mixe) donde nacen los ríos Salado y río Grande, formadores del río Santo Domingo. Por otro lado, conectados por la margen derecha del Papaloapan, se le unen los ríos Valle Nacional, Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista.

Otro curso principal correspondiente a la margen izquierda lo constituye el río Tonto, que se forma por los escurrimientos de la Sierra Madre Oriental.

Los escurrimientos del macizo volcánico de los Tuxtles forman ríos con menor trayectoria, como son el Tlapacoyan, Hueyapan y otros, que finalmente se unen al río San Juan Evangelista.

El destino de la desembocadura de las corrientes es fundamental, ya que las que desemboquen directamente en las lagunas costeras tendrán una menor repercusión sobre los procesos de inundación. En contraste, las corrientes que confluyen y concentran el volumen de agua en el curso principal generan áreas con mayor peligro de inundación. Por otro lado, se tienen corrientes que aún estando conectadas con el río Papaloapan se encuentran controladas por presas, siendo los casos de los ríos Santo Domingo y Tonto.

Los cursos fluviales que desembocan a través de los sistemas fluvio-lagunares y no tienen conexión con el río Papaloapan son los ríos: Tecomate, Río de los Pozos, Otapa, Moreno Sur, Estanzuela, Hondo, Blanco y

Tlalixcoyan.

La cuenca del Papaloapan presenta una gran diversidad de comunidades vegetales, desde bosques tropicales ubicados en la porción media de la cuenca hasta bosques de coníferas en las porciones más altas, los cuales alternan con una porción árida correspondiente al Valle de Tehuacán, donde se presentan chaparrales y comunidades xerófitas. Por su parte, las porciones bajas de la llanura de inundación se caracterizan por una cobertura totalmente modificada de pastizales cultivados y de cultivos de caña de azúcar, establecida en áreas ligeramente más altas de la planicie, las cuales ocupan preferentemente la margen izquierda del Papaloapan. En la porción costera se encuentran asociaciones de comunidades de tular (*Typha dominguensis*) colindantes con la zona intermareal, en donde se establece una vegetación de manglar que penetra desde la laguna costera de Alvarado hasta 20 km tierra adentro. Al frente de la laguna de Alvarado se encuentran dispuestas paralelas al litoral altas dunas costeras, en las que se desarrolla una vegetación de pastos inducidos y vegetación natural de dunas costeras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar las causas explicativas de la presencia de las inundaciones con mayor frecuencia en las últimas décadas, fue necesario analizar la información de los gastos hidrométricos y de los datos de precipitación, elaborar un mapa de las modificaciones en la cubierta vegetal y un mapa de pendientes. Los últimos dos temas se analizaron de forma espacial mediante la utilización de un sistema de información geográfica (SIG) ARC/INFO.

El primer paso consistió en recopilar información de los gastos máximos hidrométricos de los boletines hidrométricos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), de la

Comisión Nacional del Agua (CNA), y de las bases de datos digitales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Esta información cubre un período que abarca desde 1947 hasta 1996, el cual varía en cada estación hidrométrica. Se escogieron las estaciones hidrométricas más cercanas a la llanura de inundación de curso bajo: a) Estación Papaloapan, río Papaloapan, b) Estación Cuichapan, río Blanco, c) Estación Villa Azueta, río Tesechoacán, d) Estación Cuatolapan, río San Juan y, e) Estación Lauchapan, río Lauchapan.

Los gastos se representaron gráficamente como una función del tiempo. Para determinar si hay incremento, se calculó una línea de tendencia con base en una regresión lineal. Con base en la ecuación de esta línea, se determinó la existencia de decremento, incremento o estabilidad de los valores en el tiempo en función de la pendiente, negativa, positiva o cerca de cero. Los datos sobre precipitación se seleccionaron para las subcuencas en donde los gastos máximos hidrométricos presentaron una tendencia al incremento y se analizaron de forma similar a los gastos.

La transformación de la cubierta vegetal y las características de la pendiente acarrearán importantes consecuencias en la concentración de los escurrimientos y en el desarrollo de los procesos de inundación. El análisis de las modificaciones de las coberturas del suelo se realizó con base en un SIG a fin de identificar las subcuencas y los rangos de pendientes en los cuales se presentó mayor deforestación. Se examinaron las modificaciones de la cubierta vegetal a través del análisis de imágenes de satélite, cartografía de uso del suelo y vegetación existente, además de trabajo de campo, para verificar dichos cambios.

La interpretación visual se realizó con base en cuatro imágenes de satélite Landsat MSS del año 1973 y mapas de uso del suelo y

vegetación, que forman parte de la actualización al año 1993, que realizó INEGI a partir de la interpretación de imágenes Landsat TM. La interpretación de las imágenes se realizó mediante un compuesto de color, donde se utilizan las bandas 2, 3 y 4 (visibles e infrarrojo). Este compuesto resalta la vegetación, lo que facilita la identificación de la superficie que cuenta con vegetación vigorosa.

Con el fin de simplificar los datos y reducir las confusiones entre categorías se adoptó un sistema de clasificación muy sencillo, en el cual se contemplan las siguientes categorías: a) agropecuario; b) cobertura forestal; en esta clase se incluyen las tres clases de vegetación secundaria y la vegetación primaria (original) tanto de bosque como de selva; c) matorral y d) otros usos del suelo y vegetación (popal-tular, zona urbana, cuerpos de agua). El mapa de pendientes se elaboró con base en un modelo digital de terreno (MDT), el cual proporciona la información en formato *raster* de la altura del relieve sobre el nivel del mar.

Según Kravtsova y Nikolaevskaya (citados por Lugo, 1988), quienes analizaron la erosión en diferentes pendientes, los escurrimientos provocan una erosión que va de media a alta a partir de los 6°. Por ello, en términos cartográficos, se dividió la cuenca del río Papaloapan en áreas con pendientes menores y mayores a los 6°. Finalmente, se analizó la información y se identificaron las relaciones entre el incremento de los gastos hidrométricos, los datos de precipitación, los cambios en la cubierta vegetal y las pendientes.

## **RESULTADOS**

### **Gastos máximos hidrométricos**

Los gastos máximos anuales de la estación hidrométrica Papaloapan mostraron una tendencia al decremento, lo cual es lógico si se

sabe que esta corriente la controlan las presas de Temascal y Cerro de Oro. La primera, en operación desde 1950, regula el caudal del río Santo Domingo, y la segunda, el curso del río Tonto, desde 1989. Estos embalses sirven como reguladores y disminuyen la magnitud de la inundación en la confluencia de las corrientes que desembocan río abajo del Papaloapan. En la gráfica siguiente se observa que los picos máximos de crecida se presentan en los años de 1954, 1956, 1958, 1969, 1975, 1981 y 1983, por arriba de los 4 500 m<sup>3</sup>/s. Posteriormente, para los años recientes, a partir de 1984, aparecen gastos menores por debajo de los 3 500 m<sup>3</sup>/s (Figura 1).

La estación de Cuichapa se localiza sobre la corriente del río Blanco, en la porción izquierda de la llanura del bajo Papaloapan, que desemboca directamente en la laguna costera de Alvarado. La gráfica no muestra una tendencia clara; los picos de las mayores avenidas corresponden a los años de 1961, 1969, 1974 y 1981, y sobrepasan los 500 m<sup>3</sup>/s. Cabe aclarar que la avenida de 1969 causó la mayor área afectada por inundación después de la de 1944 en ese siglo. Sin embargo, el gasto que presenta esta estación para 1969 es más bajo que en otras avenidas máximas (Figura 2).

Los datos máximos hidrométricos de la estación Villa Azueta, ubicada en el río Tesechoacán, corresponden a la desembocadura en la margen derecha del río Papaloapan. Esta corriente muestra un incremento muy importante en los gastos de los cursos fluviales, así, se registraron picos de crecidas para los años de 1952, 1954, 1956, 1958, 1960, 1969, 1974, 1980, 1987 y 1992. Se observa en la gráfica una clara división e incremento a partir del gasto máximo de 1969. Los gastos máximos anteriores a 1969 fluctúan entre los 900 y 1 300 m<sup>3</sup>/s, mientras que todos los picos de crecidas posteriores a 1969 son mayores, con un rango que varía entre 1 500 y 2 100 m<sup>3</sup>/s, siendo incluso más elevados que el gasto de 1969, que alcanzó 1 404 m<sup>3</sup>/s (Figura 3).

La estación Cuatrotolapan, que registra los gastos del río San Juan Evagelista y también los correspondientes a la margen derecha del río Papaloapan, presenta un comportamiento muy similar a la del río Tesechoacán, pues muestra un importante incremento de los gastos máximos del río. Los registros que oscilaban entre los 500 y 1 200 m<sup>3</sup>/s antes de 1969, se incrementaron de 500 a 2 300 m<sup>3</sup>/s después de esta fecha.

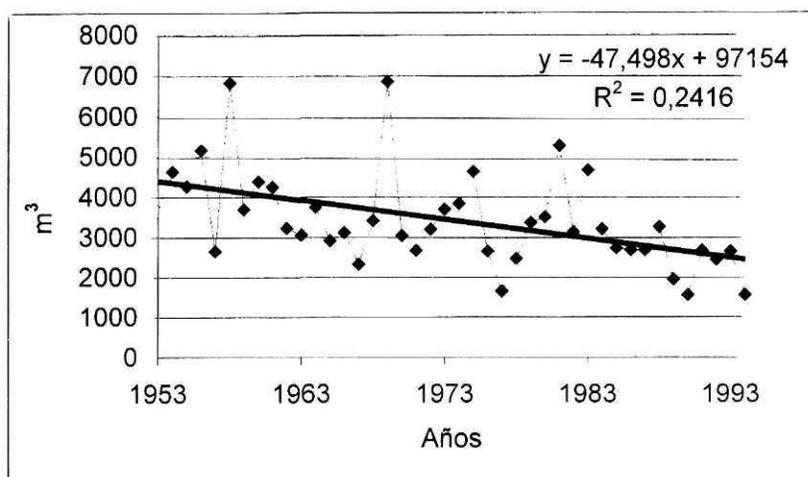


Figura 1. Máximas hidrométricas anuales de la estación Papaloapan, río Papaloapan.

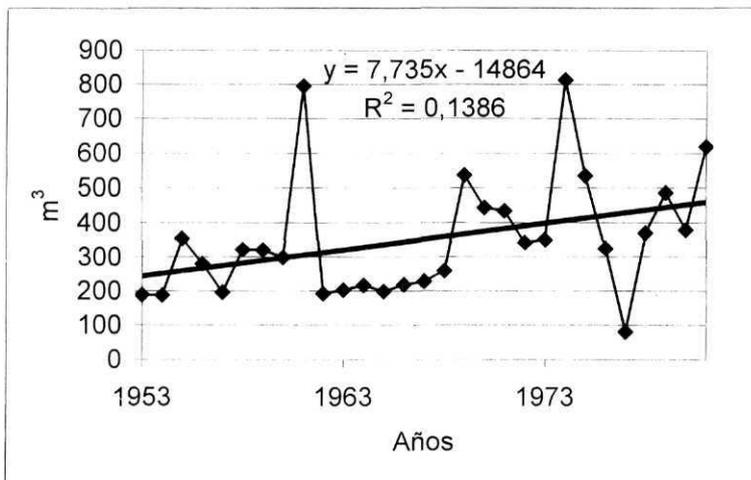


Figura 2. Máximas hidrométricas anuales de la estación Cuichapa, río Blanco.

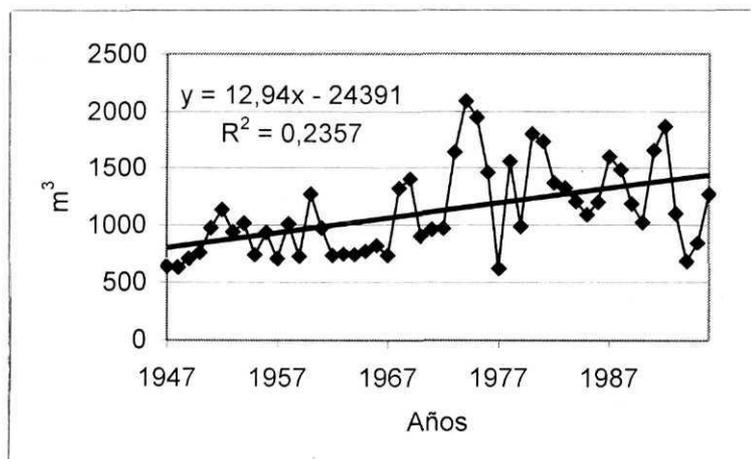


Figura 3. Máximas hidrométricas anuales de la estación Villa Azueta, río Tesechoacán.

La diferencia entre los ríos Tesechoacán y San Juan es que el dato máximo hidrométrico de este último sí corresponde al año de 1969, cuando se presentó la excepcional avenida de 4 165 m<sup>3</sup>/s. Los picos de crecida máximos aparecen en 1969, 1973, 1974, 1975, 1978, 1980, 1983, 1989, 1992 y 1996 (Figura 4).

Los gastos del río Lauchapan, que forma parte de la margen derecha del Papaloapan y desemboca junto con éste en el río San Juan, difieren de estas dos corrientes, ya

que, según los datos registrados en la estación Lauchapan, han experimentado un ligero decremento en la tendencia. Su representación gráfica muestra numerosos picos máximos de crecida, destacan los correspondientes a los años 1955, 1960, 1963, 1967, 1969, 1971, 1973, 1974, 1991, 1993 y 1996 que rebasan los 400 m<sup>3</sup>/s. A partir del pico de crecida de 1974, los gastos máximos anuales son menores de 400 m<sup>3</sup>/s, con excepción de los años 1991, 1993 y 1996 (Figura 5).

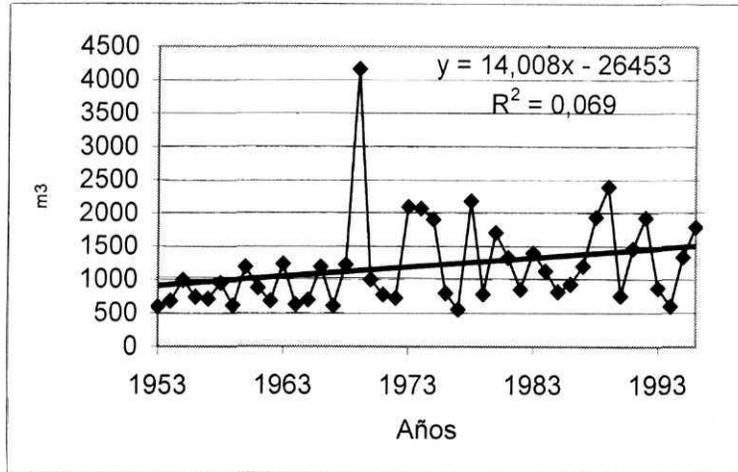


Figura 4. Máximas hidrométricas anuales de la estación Cuatutolapan, Río San Juan Evangelista.

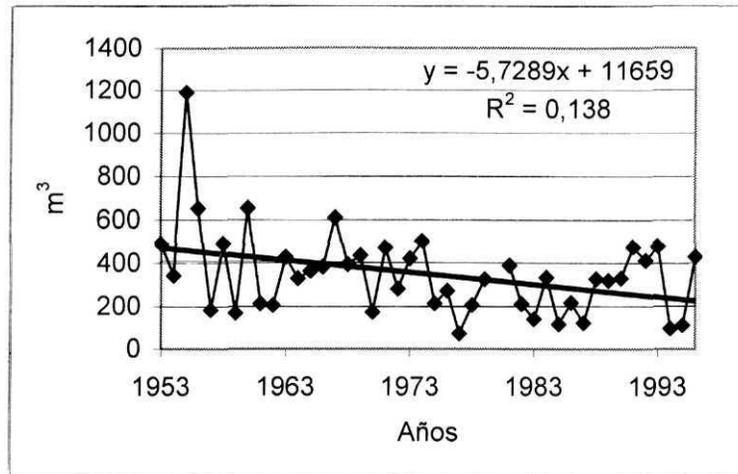


Figura 5. Máximas hidrométricas anuales de la estación Lauchapan, Río Lauchapan.

En síntesis, las tendencias de las cinco estaciones hidrométricas descritas anteriormente muestran para dos de ellas un importante incremento de hasta más del doble de los gastos máximos (Tesechoacán y San Juan Evangelista), tendencia observable a partir de 1969. En contraste, la corriente principal del río Papaloapan se ha reducido a partir de 1983. Esta misma tendencia se detecta para la corriente del río

Lauchapan, cuyo decremento se presenta a partir de 1974.

### Precipitación

Se analizaron los registros de precipitación total anual de las subcuencas de los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, correspondientes a nueve estaciones climatológicas, de las que cuatro cuentan con

datos de precipitación para la subcuenca del río Tesechoacán: corresponden dos de ellas, Mata Limones y Playa Vicente, al curso bajo del río, mientras que las estaciones San Miguel Cuajimuloyas y San Miguel Sola de Vega se ubican en la porción alta de la subcuenca. La subcuenca del río San Juan Evangelista fue analizada con base en los datos de precipitación reportadas por cinco estaciones climatológicas, dos, Soyolapa y Coyame, se localizan en la porción alta de la subcuenca y tres, San Andrés Tuxtla, Catemaco y Ángel R. Cabadas, se encuentran en el área baja de la misma. Con base en la información de precipitación total anual de las estaciones, se generó una gráfica para cada

una de las subcuencas (Figura 6).

En las subcuencas de los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, representadas por las nueve estaciones climatológicas, no se observa una tendencia de incremento o decremento de precipitación total anual, de acuerdo con la información correspondiente a diferentes períodos en cada una de las estaciones; por ello, el incremento que muestran estas subcuencas en los gastos máximos anuales no es consecuencia de un aumento en la cantidad de lluvia. Debe obedecer a otros factores que han alterado los niveles máximos (Figura 7).

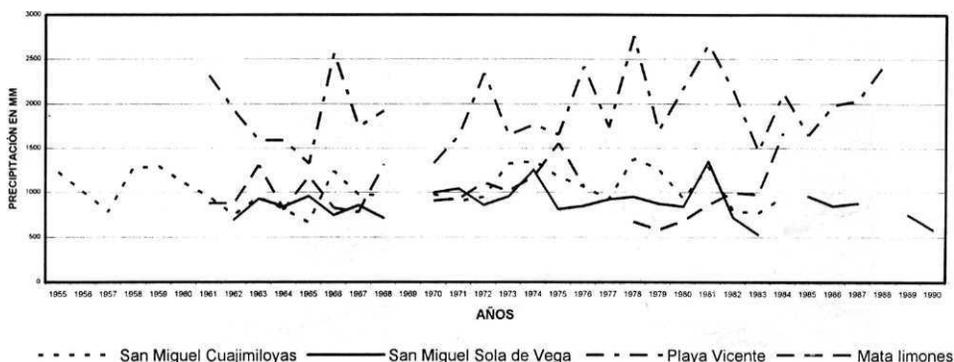


Figura 6. Precipitación total anual de cuatro estaciones climatológicas de la subcuenca del río Tesechoacán (1955-1970)

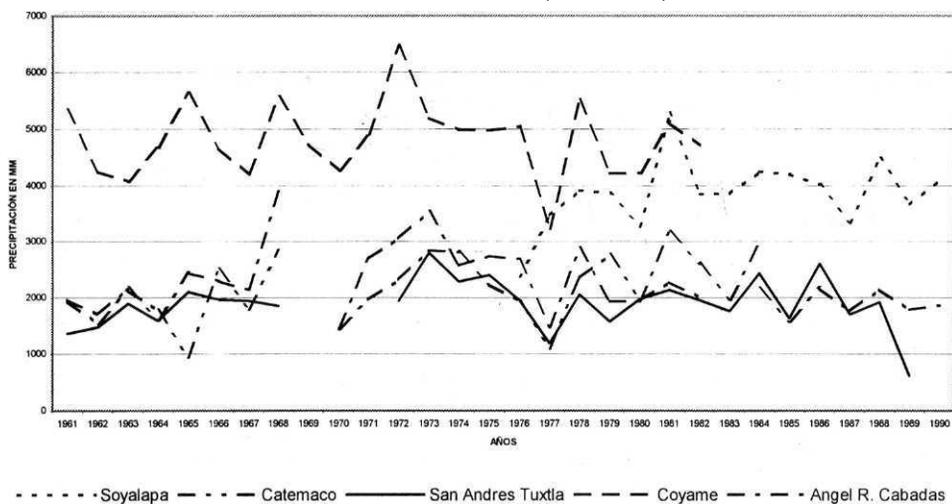


Figura 7. Precipitación total anual de seis estaciones climatológicas de la subcuenca del río San Juan Evangelista (1961-1990).

### Cambios en la cubierta vegetal

Del análisis del uso del suelo y vegetación efectuado para 1973 se desprende que las áreas dedicadas al uso agropecuario constituían un 30.3% (1 393 964 ha) de la superficie, mientras que la cubierta forestal representaba 62.0% (2 853 933 ha), el matorral, 4.1% (185 611 ha) y el resto de otros usos, 3.6% (163 626 ha).

La información de 1993 indica que la cubierta vegetal y del uso del suelo han cambiado sustancialmente, ya que el uso

agropecuario se ha extendido a un 51.1% del área (2 349 620 ha), mientras que la cubierta forestal se ha reducido a 41.7% (1 919 953 ha) cuando en 1993 ocupaba 62%; en otros términos, se registra una deforestación de 20.4% de la superficie de la cuenca (Figura 8, Tabla 1).

Los resultados anteriores indican una importante modificación de la cobertura vegetal en la cuenca del río en estudio. En una etapa siguiente, se determinaron subcuencas donde se presentaron las mayores modificaciones.

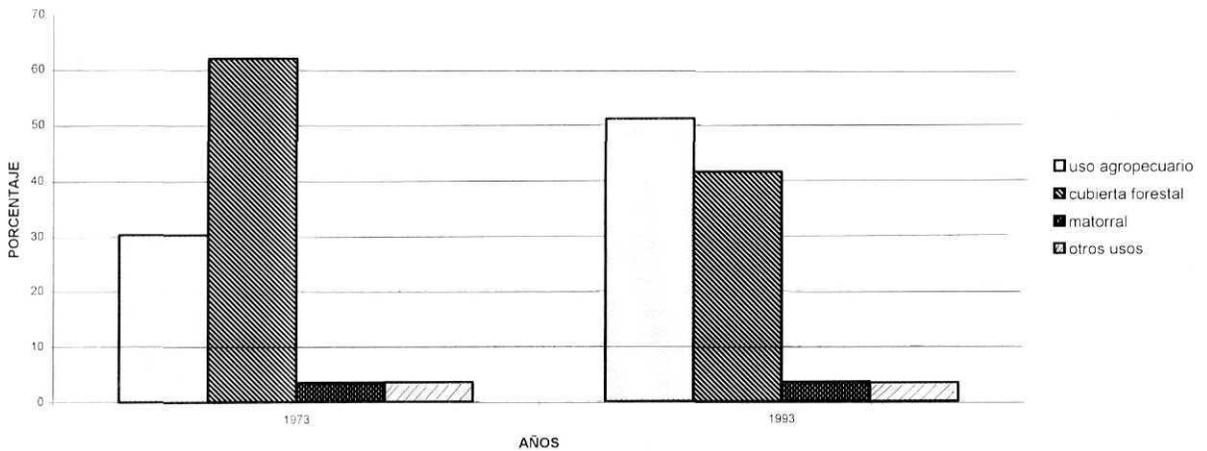


Figura 8. Cambios en el uso del suelo durante el periodo de 1973-1993.

Tabla 1. Superficies del tipo de vegetación y uso del suelo en hectáreas y porcentaje de la cuenca para el periodo 1973 y 1993

Tipo de vegetación y uso del suelo	1973		1993	
	ha	%	ha	%
Cubierta forestal	2 853 933	62.0	1 919 953	41.7
Uso agropecuario	1 393 964	30.3	2 349 620	51.1
Matorral	185 611	4.1	169 553	3.6
Otros usos	163 626	3.6	158 049	3.4

Las ocho subcuencas que conforman la cuenca del Papaloapan presentan una importante pérdida forestal (Figura 8), que en términos porcentuales equivale a un 8.2% y alcanzan hasta un 45% en relación con el cambio experimentado en la vegetación original.

Los porcentajes se refieren a la superficie deforestada en el período comprendido entre 1973 y 1993, con respecto a la superficie total de cada subcuenca.

La subcuenca que muestra la mayor pérdida forestal es la del río Obispo (Tabla 2), cuya pérdida de superficie reportada es de 45% (44 275 ha) del área forestal con respecto al área total de la subcuenca, la cual fue reemplazada por el uso agropecuario. La distribución de las áreas forestales perdidas en las subcuencas del río Obispo señalan un avance uniforme en forma de franja con dirección al sur, aguas arriba de los cursos fluviales.

La subcuenca del río San Juan Evangelista perdió 33% (354 171 ha) de áreas forestales en relación con la superficie total de la subcuenca. Las áreas arboladas devastadas fueron desplazadas también por usos agropecuarios. El patrón de deforestación es similar al de la subcuenca anterior, a diferencia de que en ésta todavía se conservan pequeños manchones forestales inmersos en la zona deforestada.

La subcuenca del río Tesechoacán registró una pérdida del 20.6% de las áreas forestales (123 934 ha), las que también se convirtieron al uso agropecuario. La distribución de las áreas deforestadas es similar a la del río San Juan Evangelista.

La subcuenca del río Blanco ocupa el cuarto lugar en superficie forestal perdida, abarca un 19.5 % (44 973 ha) en relación con la superficie de la subcuenca. Dicha vegetación cedió su lugar al uso agropecuario.

Tabla 2. Pérdida forestal con respecto al área total de la cuenca y de cada subcuenca para el periodo comprendido entre 1973-1993

SUBCUENCAS	Superficie	Superficie forestal perdida		
	(ha)	(ha)	% de la sup. de cada subcuenca	% de la superficie de la cuenca
Río Obispo		44 275	43.3	1.0
San Juan Evangelista		354 171	34.2	8.0
Río Tesechoacán	567 356	123 934	21.8	2.8
Valle Nacional	139 059	21 996	15.8	0.5
Subtotal de las subcuencas margen derecha	1 843 053	544 376	29.5	12.3
Río Blanco	210 687	44 973	21.3	1.0
Río Tonto	497 496	86 710	17.4	2.0
Sto. Domingo	1 347 687	215 044	16.0	4.9
Llanuras Papaloapan	521 168	42 838	8.2	1.0
Subtotal de las subcuencas margen izquierda	2 577 038	389 565	16.0	8.9
<b>TOTAL</b>	<b>4 420 091</b>	<b>933 941</b>		<b>21.2</b>

La distribución de las áreas deforestadas en la subcuenca del río Blanco, a diferencia de las tres subcuencas anteriores, no mantiene una superficie homogénea, sino que en ella se encuentran manchones dispersos en los cursos medio y alto de la subcuenca, principalmente.

Las subcuencas de los ríos Tonto y Santo Domingo reportan un porcentaje de pérdida forestal muy similar de 16.6% (86 710 ha) y 16.5% (215 044 ha), respectivamente; estas áreas arboladas fueron desplazadas por usos agropecuarios. La distribución de las áreas deforestadas para las dos subcuencas anteriores presenta el mismo patrón observado para la subcuenca del río Blanco, pero para el caso de la del río Santo Domingo se aprecian manchones pequeños en el curso medio, mientras que para el curso alto se perciben extensiones mayores de áreas deforestadas.

La subcuenca del río Valle Nacional, con un 15.8% (21 996 ha) de pérdida forestal, es la que conserva un mayor porcentaje de cubierta forestal. La deforestación en esta subcuenca se localiza a lo largo del curso fluvial.

La subcuenca de las llanuras del Papaloapan se distingue por una superficie forestal modificada de 8.2% (42 838 ha) de áreas forestales perdidas para el mismo periodo, las que fueron reemplazadas igualmente por usos agropecuarios. Sin embargo, eso no significa que se encuentre en buen estado la vegetación original, sino que la misma fue modificada antes de 1973.

Es importante analizar la pérdida de la superficie forestal, tomando en consideración la posición de las subcuencas dentro de la cuenca.

La ubicación de las subcuencas es importante, porque aún cuando existan cambios en la cobertura vegetal para todas las subcuencas, el comportamiento de los es-

currimientos para las subcuencas de la margen derecha será diferente al de las subcuencas de la margen izquierda.

Las subcuencas de la margen izquierda se conforman por cuatro subcuencas, en donde, para dos de ellas, los escurrimientos se mantienen controlados a través de las presas Temascal (subcuenca río Tonto) y Cerro de Oro (subcuenca río Santo Domingo). Para las otras dos (subcuencas de las llanuras del Papaloapan y la del río Blanco), los escurrimientos no tienen conexión con el río Papaloapan, ya que desembocan directamente al mar a través de la laguna.

Las subcuencas de la margen izquierda que se encuentran controladas por presas no manifiestan aguas abajo las modificaciones que han sufrido en relación con la cubierta vegetal, ya que los escurrimientos se encuentran regulados y los sedimentos retenidos por estas presas.

Las subcuencas de la margen derecha del río Papaloapan no cuentan con ninguna presa. En ellas se manifiesta el incremento del caudal, como se constató en el análisis de los gastos hidrométricos. Si se tuvieran datos de sedimentos, sería en estas mismas subcuencas donde se presentaría probablemente un aumento en el transporte de sedimentos.

Los ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan presentaron, según información topobatómica efectuada en 1996, gran cantidad de azolvamiento por sedimentos en su confluencia con el río Papaloapan. El cauce del río Obispo registró una elevación de 4 m y el río San Juan, de 7 m (Morales y Méndez, 1997).

A una distancia de 400 m de la confluencia del Tesechoacán se formó una isla. La gran acumulación de sedimentos se concentra solamente en la confluencia de las corrientes descritas anteriormente, las cuales forman parte de las subcuencas de la margen dere-

cha del Papaloapan, y en esas mismas subcuencas se detectaron los mayores cambios en la cobertura vegetal.

### Pendientes

La relación que existe entre el desarrollo de las inundaciones y la pendiente del terreno es importante, ya que en función del gradiente del terreno, el escurrimiento aportado por las precipitaciones presentará características específicas para cada cuenca y, a su vez, para cada una de las subcuencas que la conforman.

Las cuencas y subcuencas que presenten mayor porcentaje de superficie con pendientes por arriba de los 6° manifiestan una respuesta más rápida y, por tanto, una concentración del agua en menor tiempo, especialmente aguas abajo, que otras que mantengan pendientes más suaves. Y las subcuencas que tengan grandes superficies con pendientes bajas tendrán un drenaje más lento y, por consiguiente, mayor concentración de los escurrimientos, pero un pico menos pronunciado aguas abajo.

Tomando en consideración el análisis de la erosión en diferentes pendientes donde se menciona que los escurrimientos llevan a cabo una erosión media a alta a partir de los 6°, se dividió la cuenca del río Papaloapan en áreas con pendientes menores a los 6°, que representan el 55%, y las superficies con pendientes mayores a 6°, que cuentan con el 45% del área de la cuenca.

El porcentaje entre las superficies con pendientes menores y las mayores a 6° varía para cada una de las subcuencas del río Papaloapan, como se muestra en la Tabla 3.

Las subcuencas de los ríos Valle Nacional y Santo Domingo alcanzan los mayores porcentajes (80.2% y casi 70% respectivamente) con respecto al total de su superficie, con pendientes mayores a 6°, lo cual nos indica que estas subcuencas tienen una respuesta rápida a los procesos de escurrimiento y concentración del agua.

En contraste, las subcuencas de las llanuras del Papaloapan, y de los ríos Obispo y San Juan, presentan porcentajes relativos a

Tabla 3. Valores en porcentaje de las pendientes menores y mayores a 6° para cada una de las subcuencas

Subcuencas de los Ríos	Valle Nacional	Santo Domingo	Blanco	Tonto	Tesechoacan	San Juan	Qbispo	Llanuras Del Papaloapan
<0.5°	4.7	2.1	11.0	22.7	20.7	29.6	60.3	88.5
0.5-1.5°	4.8	6.7	9.8	12.1	15.1	22.1	25.2	8.6
1.5-3°	4.1	9.4	12.0	6.4	8.7	13.2	10.1	1.5
3-6°	6.1	13.1	11.2	6.6	6.1	9.6	3.0	0.5
Subtotal	19.8	31.4	44.0	47.8	50.6	74.5	98.6	99.2
6-10°	9.1	13.3	10.8	8.1	5.7	6.0	0.6	0.2
10-20°	32.2	31.5	24.0	23.4	20.5	10.6	0.5	0.4
20 - 30 °	28.0	18.0	14.6	14.4	17.0	6.8	0.2	0.2
<30	10.9	5.9	6.6	6.4	6.2	2.2	0.1	0.1
Subtotal	80.2	68.7	56.0	52.3	49.5	25.6	1.4	0.9

su superficie de 99.2%, 98.6% y 74.5% respectivamente, con valores de pendientes menores a 6°, en donde, sin lugar a duda, el transporte del agua se lleva a cabo de forma más lenta, manteniendo por ello mayor estancamiento de la misma.

Y por último, las superficies que conforman las subcuencas de los ríos Blanco, Tonto y Tesechoacán presentan un porcentaje de 56, 52.3 y 49.5%, respectivamente, con áreas cuyos valores se elevan por arriba de los 6°. Estas subcuencas, al parecer, mantienen una proporción cercana a la mitad entre las superficies mayores y menores de 6°.

### **Relaciones entre la modificación de la cubierta forestal y la pendiente**

La caracterización de la relación entre los cambios experimentados por la cubierta vegetal y las pendientes se llevó a cabo mediante la sobreposición de las coberturas de pendientes y de modificaciones de la cubierta vegetal. En el mapa de pendientes éstas se agruparon en menores y mayores a 6°.

La cobertura de cambio de la cubierta forestal entre 1973-1993 presenta tres grupos: a) vegetación forestal conservada, b) áreas deforestadas, y c) vegetación no forestal. En esta última clase se consideraron la vegetación de popal-tular, manglar y las áreas agrícolas que fueron establecidas antes de 1973.

Al cruce de las dos coberturas se le agregan los límites de las subcuencas para obtener los resultados para cada una de ellas, con el objetivo de comprender por qué algunas de ellas incrementaron sus gastos máximos en los últimos años.

La información de la sobreposición de las coberturas divide en dos grupos a las subcuencas del río Papaloapan. Al primer

grupo pertenecen las subcuencas que presentan la mayor superficie deforestada sobre pendientes menores a 6°, como las subcuencas de los ríos Obispo, San Juan Evangelista, Tesechoacán, Llanuras del Papaloapan y hasta en la de Valle Nacional, donde las superficies con pendientes menores a 6° representan sólo el 20% de la superficie total de dicha subcuenca.

Este tipo de deforestación sobre pendientes bajas es lógico, debido a que el uso agropecuario que se da en las áreas deforestadas tiene mejor desarrollo sobre pendientes menores de 6°.

Por otro lado, al recordar los resultados porcentuales de las superficies que correspondían a pendientes menores de 6° para las subcuencas, se tiene que son precisamente las subcuencas de las llanuras del Papaloapan, las de los ríos Obispo, San Juan y Tesechoacán las que reportan un porcentaje de 99.2, 98.6, 74.5 y 50.6%, respectivamente, con superficies menores a 6° de pendiente. En otras palabras, en todas ellas por lo menos la mitad de la subcuenca mantiene áreas llanas en donde la cubierta vegetal ha sido modificada casi por completo.

La Figura 9 muestra para el período de 1973-1993 que las cuencas de los ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista presentan una deforestación devastadora en áreas con pendiente menor a 6°. En la figura se observa una franja con una considerable superficie deforestada a lo largo de los cursos medios de los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, así como en los cursos altos de las subcuencas de las llanuras del Papaloapan y el Obispo,

Las superficies deforestadas en orden decreciente en pendientes menores a 6° por subcuenca son: a) el río San Juan (334 824 ha), b) el río Tesechoacán (110 997 ha), c) el río Obispo (45 995 ha), d) las llanuras del

Papaloapan (42 320 ha), y por último e) el río Valle Nacional sólo con 13 106 ha.

Es precisamente en las subcuencas de los ríos San Juan Evangelista y Tesechoacán donde el incremento en los gastos máximos anuales tuvo lugar, sin duda producto de las modificaciones en la cubierta vegetal durante las últimas décadas. Es notable observar que el aumento en los gastos fue resultado de la deforestación en superficies con pendiente menor a  $6^\circ$ .

Es importante mencionar que en las subcuencas del río Obispo y las llanuras del Papaloapan, posiblemente también se estén llevando a cabo incrementos en los gastos hidrométricos, pero la estación hidrométrica del río Obispo dejó de operar desde 1963 y

para las llanuras del Papaloapan no existen estaciones hidrométricas que registren los gastos, debido a que no aflora sustrato rocoso.

En contraste, las subcuencas que presentan mayor deforestación para el período de 1973-1993, en áreas con pendientes mayores a  $6^\circ$ , son las subcuencas de los ríos Santo Domingo, Tonto y Blanco con 151 695, 48 291 y 35 265 ha, respectivamente. En los tres casos, la deforestación se manifiesta en forma de manchones dispersos a lo largo de los cursos medios y altos. En el Santo Domingo se presenta casi el doble de superficie deforestada en pendientes mayores a  $6^\circ$  que en menores a  $6^\circ$  y casi cuatro veces más en el caso de la subcuenca del río Blanco (Figura 9).

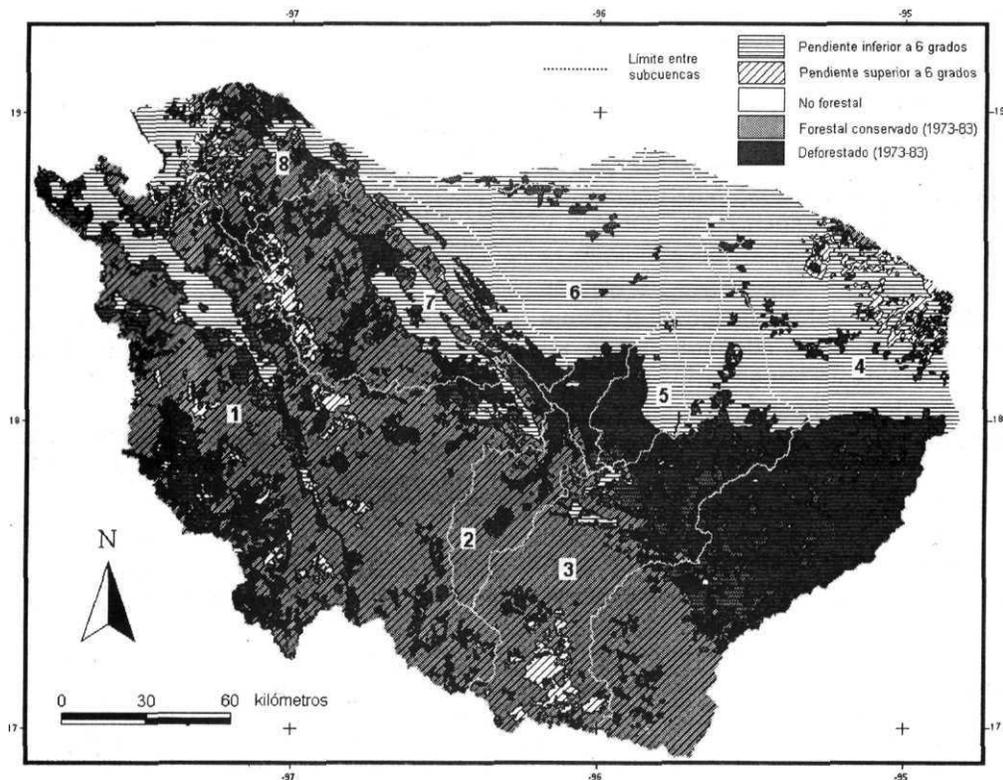


Figura 9. Sobreposición de la información del cambio de la cubierta vegetal y de las pendientes mayores y menores a  $6^\circ$ .

## CONCLUSIONES

Las modificaciones de la cubierta vegetal original incrementan los escurrimientos en el curso bajo del río Papaloapan. Las subcuencas que presentan una mayor superficie con pendientes bajas son más susceptibles a sufrir cambios en la cubierta vegetal, y es en ellas donde el desarrollo de los procesos de inundación se presenta con mayor frecuencia y magnitud.

Las subcuencas de la margen derecha del río Papaloapan presentan un mayor porcentaje de pérdida en la cobertura forestal entre 1973 y 1993, pues en total registran un 29.5% de las áreas forestales perdidas con respecto a su superficie total, mientras que las subcuencas de la margen izquierda mantienen un 16% de pérdida forestal para el mismo período y en relación con la superficie total para dichas subcuencas (Tabla 2).

Es posible que la magnitud de la superficie deforestada, junto con la distribución de la misma, genere un incremento en los gastos hidrométricos, porque en las subcuencas de los ríos San Juan, Tesechoacán, Obispo y las llanuras del Papaloapan se conjugan la pérdida de grandes superficies forestales con un patrón de deforestación que dibuja una cobertura desnuda continua desde su desembocadura hasta aguas arriba del curso medio, en donde prácticamente no hay vegetación forestal que detenga el escurrimiento.

Mientras que en las subcuencas, donde predominó la deforestación en superficies con pendiente mayor a 6°, la distribución se presenta en manchones dispersos con superficies reducidas. Dicha característica genera un incremento de menor magnitud en el escurrimiento, como es el caso de la subcuenca de río Blanco.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro EPOMEX de la Uni-

versidad Autónoma de Campeche por las facilidades otorgadas para la realización de parte del procesamiento de los datos, y al Instituto de Geografía de la UNAM, de donde fueron obtenidas las imágenes de satélite.

## REFERENCIAS

- 📖 CNA (1990), *Regiones hidrológicas de México*, Comisión Nacional del Agua, México.
- 📖 CNA (1992), *Isoyetas normales de la República Mexicana 1931-1990*, Comisión Nacional del Agua, México.
- 📖 Fuentes, M., M. Domínguez y otros (1994), *Estudio hidráulico del río Papaloapan desde las presas Miguel Alemán y Miguel de la Madrid hasta su desembocadura al mar*, Comisión Nacional del Agua, Proyecto 2316, México.
- 📖 García, E. (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- 📖 IMTA, *Información hidrométrica, 1967-1994*, Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, México.
- 📖 IMTA (1996), *Extracto rápido de información climatológica*, Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, México.
- 📖 INEGI (1995), *Conteo de población y vivienda 1995*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- 📖 INEGI (1997), *Estadísticas del estado de Veracruz*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- 📖 Jacome Lara, A. (1979), *Problemas de inundación entre los ríos Obispo-Papaloapan, Veracruz*, tesis de Licenciatura, UNAM. México.
- 📖 Kingma, N. C. (1990), *Natural hazard. geomorphological aspects of floodhazard*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands.
- 📖 Lugo Hubp., J., (1988), *Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos)*, UNAM, Instituto de Geografía, México.

📖 Morales, M. y M. Méndez (1997), *Diagnóstico sobre la seguridad integral de la cuenca del río Papaloapan*, tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, México.

📖 Ortiz, P., F. de Luna y A. Palacio (1991), "Mapa de riesgos naturales", *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM.

📖 SRH (1975), *Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión del Papaloapan, México.

📖 SARH, *Boletín hidrométrico de la cuenca del río Papaloapan*, 1960-1978, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Papaloapan, México.

📖 SARH (1993), *Carta de escurrimiento y disponibilidad de agua superficial*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.