

01059

294 917



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

VULNERABILIDAD A INUNDACION  
EN EL CURSO BAJO DEL RIO  
PAPALOAPAN, VERACRUZ

TESIS

PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN GEOGRAFIA

PRESENTA

BLANCA AZUCENA PEREZ VEGA

MEXICO, DF. 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Quiero dedicar este trabajo a mis dos familias:

A mi familia grande: En primerísimo lugar a mi madre por todo el gran amor que nos ha dado a pesar de ser tantos y tan molones.

A todos mis hermanos y hermanas por qué a pesar de nuestras diferencias no podemos dejar de amarnos: A la Lulú, el Paco, la Gris, la Chatita, la Mananena, el Arturo, la Rosita, la Marce y la Lore.

A toda la bola de sobrinos, pero en especial a la Vale y Amanda por su apoyo en la recopilación hemerográfica.

Y a mi familia pequeña por lo bello que es construir sueños a futuro para intentar formar y hacer felices a estos dos escuincles, el Petit sub y la Juliette. Y por supuesto con todo mi amor a François.

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que quiero nombrar y espero no olvidar a nadie.

Al Dr. Domingo Flores Hernández, director del Centro EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, por el incondicional apoyo que siempre ofreció en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez por la asesoría y por escuchar siempre con mucho interés mis dudas.

Al Dr. José Luis Palacio Prieto y la Dra. Laura Elena Maderey Rascón por sus comentarios para la terminación de este trabajo.

De forma especial quiero agradecer al Dr. Lorenzo Vázquez Selem y a la Maestra. Oralia Oropeza Orozco, por el detalle con el cual evaluaron este trabajo y por sus sugerencias tan pertinentes, muchas gracias.

A la Gerencia Estatal de Veracruz, por el apoyo en la información que básicamente forma parte del sustento del presente trabajo. Al Ing. Horacio Francisco Rubio Vega, al Lic. José Llanos gracias por su gran disposición en proporcionar la información, al técnico Jesús Alberto García, al Ing. Maximiliano Landa Panamá y al aforador Antelmo Ramírez Ávila.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en especial al Dr. Jorge Brena por las facilidades para la utilización de sus imágenes de satélite. A mi amigo Alberto Balancan Soberanis, Subcoordinador del Centro de Computo del IMTA, por los datos que me facilitó.

Al Lic. Miguel Ángel Backoff director del Instituto Mexicano de Transporte por la información para los datos referente a carreteras.

A compañeros y amigos del Centro EPOMEX Gerardo Palacio Aponte y Raquel Rosas por su apoyo que brindaron para la realización de trabajo de campo. A los maestros Jaime Rendón Van Osten y Leticia Alpuche Gual, y a la Dra. Julia Ramos por el apoyo y la amistad brindada. Al biólogo. Ramón Zetina por la ayuda técnica.

A mis amigas de siempre Isabel Ramírez y Lourdes Romo por nuestra amistad aún en la distancia.

# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>I. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>III. MARCO GEOGRÁFICO GENERAL.....</b>	<b>25</b>
III.1 MEDIO FÍSICO .....	25
III.1.1 Localización, límites y extensión.....	25
III.1.2 Fisiografía y Geología .....	26
III.1.3 Hidrología.....	28
III.1.4 Clima .....	28
III.1.5 Vegetación .....	29
III.1.6 Suelos .....	30
III.2 MEDIO SOCIAL .....	30
III.2.1 Municipios .....	30
III.2.2 Distribución y densidad de población.....	31
III.2.3 Vías de acceso.....	31
<b>IV. PELIGRO “NATURAL” DE INUNDACIÓN ( P.N.I) .....</b>	<b>32</b>
IV.1 EVENTOS HIDROMETEREOLÓGICOS .....	33
IV.1.1 Perturbaciones atmosféricas.....	33
IV.1.2 Precipitaciones.....	35
IV.1.3 Gastos hidrométricos .....	36
IV.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EVENTOS HIDROMETEREOLÓGICOS CUANDO SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES (1944-1996).....	38
IV.2.1 Gastos hidrométricos (G. H.).....	39
IV.2.1.1 Tendencia de los G. H.....	39
IV.2.1.2 Clasificación jerárquica de los G. H.....	43
IV.2.2 Precipitaciones.....	47
IV.2.2.1 Tendencia de la precipitación.....	54
IV.2.3 Perturbaciones atmosféricas.....	57
IV.2.4 Análisis de los eventos hidrometeorológicos.....	72
IV.3 CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL Y PENDIENTES	
IV.3.1 Cambios en la cubierta vegetal .....	75
IV.3.1.1 Antecedentes históricos .....	75
IV.3.1.2 Cambios de 1973 a 1993 .....	81
IV.3.2 Pendientes.....	85
IV.3.3 Relaciones entre la modificación de la cubierta forestal y la pendiente .	89

IV.4 UNIDADES NATURALES .....	94
IV.4.1 Geomorfología .....	94
IV.4.2 Vegetación .....	99
IV.4.3 Edafología .....	101
IV.4.4 Determinación de las unidades naturales.....	105
IV.5 DENSIDAD DEL DRENAJE .....	109
IV.6 DETERMINACIÓN DEL P. N. I .....	115
IV.6.1. Primera etapa.....	116
IV.6.2. Segunda etapa.....	120
IV.6.3. Tercera etapa.....	124
IV.7 MANIFESTACIONES DEL P. N. I. (FRECUENCIA DE INUNDACIÓN).....	128
<b>V. VULNERABILIDAD SOCIAL .....</b>	<b>135</b>
V.1 UBICACIÓN Y NÚMERO DE HABITANTES .....	135
V.2 MATERIAL DE LAS VIVIENDAS.....	138
V.2.1 Casas con paredes de lámina de cartón .....	138
V.2.2 Casas con techos de cartón.....	139
V.3 USO DEL SUELO.....	142
V.3.1 Agricultura.....	143
V.3.2 Ganadería .....	147
V.4 DISTRIBUCIÓN DE CARRETERAS.....	148
V.4.1 Carreteras pavimentadas .....	149
V.4.2 Carreteras de terracería .....	150
V.4.3 Caminos de brecha .....	151
V.4.4 Veredas.....	151
V.5 OBRAS DE PROTECCIÓN.....	151
V.5.1 Rectificación de ríos.....	152
V.5.2 Canales de alivio.....	153
V.5.3 Corrección de torrentes y retención de azolves.....	153
V.5.4 Obras de recuperación.....	153
V.5.5 Bordos de protección .....	153
V.5.6 Bordos perimetrales .....	154
V.5.7 Alcantarillas.....	155
V.5.8 Presas.....	155
V.5.9 Protección marginal .....	156
<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>157</b>
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>168</b>

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones 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 peligro natural de ser inundadas. Según algunas estimaciones a nivel mundial, mencionan que las inundaciones provocan las mayores pérdidas en vidas humanas en comparación con otros fenómenos naturales (Kingma, 1990).

En México el estado que registra la mayor frecuencia de inundaciones es Veracruz teniendo un índice de más 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 Río 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 dicha cuenca, el desarrollo de inundaciones con una probabilidad de 1.2 al año (Fuentes et al, 1994), es decir que todos los años se inunda alcanzando año con año, en algunos sitios la altura de 1 m; e inundaciones extraordinarias de hasta 2 m de tirante en un periodo de retorno de 25 años.

Las inundaciones en la cuenca del Río Papaloapan han tenido registros desde el siglo ante pasado pero en el pasado siglo se han presentado las más devastadoras (Luna, 1993).

Los procesos de inundación en la llanura baja del Papaloapan han afectado y siguen afectando las actividades económicas primarias, como son : la agricultura de caña de azúcar, la cual mantiene gran importancia económica en la región y los cultivos de manutención como el maíz, frijol, chile, arroz, además de cultivos de frutales como el mango, plátano y piña, que ocupan superficies pequeñas en comparación con las extensiones cañeras. La actividad agrícola en la zona se encuentra alternada con el desarrollo de pastos para la producción ganadera.

Según el censo de 1995 (INEGI, 1997) el estado de Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional en producción cañera y 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.

Otro rubro de la actividad económica en la zona, lo constituye la actividad pesquera, la cual se lleva a cabo en la laguna de Alvarado y en las lagunas costeras adyacentes a ella, así como también en el litoral. En estas zonas con influencia marina se establecen localidades cuya economía está basada en la pesca de almeja y camarón, los cuales ocupan uno de los primeros lugares a nivel estatal (INEGI, 1997).

El desarrollo económico agropecuario y pesquero del bajo Papaloapan ha estado íntimamente ligado con el crecimiento de la población. Esto se remonta a 1860 con la introducción de cultivos de algodón por plantadores españoles, los cuales posteriormente introdujeron café, tabaco y caña de azúcar en 1875. La actividad cañera con el tiempo predominó y permaneció fomentando un polo de atracción de la población (Marchal y Palma, 1984).

Actualmente la cuenca del Papaloapan alberga una población de 1,802,012 habitantes (INEGI, 1995), en donde 956,897 o sea un 53%, vive y desarrolla sus actividades económicas en la llanura baja del Río Papaloapan (Morales y Mendez, 1997), sitio donde precisamente se presentan los fenómenos de inundación.

El problema de las inundaciones en el bajo Papaloapan, propició la creación de la Comisión del Papaloapan en 1949; actualmente la problemática es vigilada por la Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional e Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. Dichos organismos se dedican en recopilar información hidrométrica y meteorológica para la creación de modelos hidráulicos, que permitan planear medidas de control y/o mitigación de las inundaciones. Sin embargo lograr tal objetivo es difícil, debido a la complejidad del problema, ya que los actores que intervienen en el desarrollo de las inundaciones son diversos.

Los modelos hidráulicos utilizados por los organismos antes mencionados, plantean medidas de control como la construcción de obras de protección local (presas, rectificación de ríos,

bordos de protección, canales de alivio) , para evitar inundaciones en poblaciones importantes o en grandes áreas de cultivo, pero las obras de protección locales sólo resuelven el problema de forma temporal desplazando la localización de las inundaciones a otros sitios (Pelcastre, 1995).

La problemática de las inundaciones es compleja porque además de conjugarse diversos elementos naturales, también intervienen elementos antrópicos, como los cambios realizados en la cobertura vegetal de la cuenca alta, que aceleran y hacen mayores las dimensiones del fenómeno. Por tanto el control y mitigación de las inundaciones por las medidas de protección en la llanura baja, parecen una labor titánica, tanto en costo como en el tiempo que implicaría generar acciones que conjunten todos los aspectos que influyen en el desarrollo de las inundaciones. Estos aspectos deben contemplar medidas de tipo ingenieril así como acciones de conservación del medio ambiental, que abarquen la totalidad de la cuenca.

El presente estudio pretende sumarse a la aportación del conocimiento para comprender los mecanismos que intervienen en el complejo desarrollo de las inundaciones, atendiendo su estudio desde un enfoque geográfico.

El trabajo toma en cuenta, en una primera parte, los diferentes elementos naturales y antrópicos que participan en el fenómeno, para conocer las vinculaciones entre dichos elementos, su desarrollo y la distribución espacial que han presentado a través del tiempo.

La segunda parte del trabajo busca también representar la vulnerabilidad social que presentan los elementos humanos afectados ante la presencia de una inundación, tomando como base información sobre las condiciones socioeconómicas.

Finalmente este estudio determina en función de las características de los elementos naturales y antrópicos asociados a las inundaciones y de los aspectos sociales establecidos en áreas con riesgo de ser inundadas, los niveles de vulnerabilidad ante procesos de inundación en la llanura baja del Papaloapan.

Para la evaluación y determinación de los niveles de vulnerabilidad ante procesos de inundación, se utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permite un manejo y análisis más fácil de la información.

## ANTECEDENTES

La ocurrencia de inundaciones y los procesos derivados han permitido generar a lo largo del tiempo un importante cúmulo de información relacionada con las inundaciones en la zona de estudio.

Los primeros trabajos y esfuerzos por comprender la problemática, se inician a consecuencia de la devastadora inundación de 1944, que motiva la creación de la hoy extinta Comisión del Papaloapan. Dicho organismo establece una amplia red de estaciones hidrométricas y climatológicas que suman 53 y 274 respectivamente, que operan conjuntamente hasta 1970. Dichas estaciones se ubican en puntos estratégicos dentro y en las vecindades de la cuenca. La información hidrométrica y meteorológica se encuentra recopilada en los Boletines Hidrológicos desde 1952 a 1959 y de los Boletines Hidrométricos desde 1960 a 1978. Estos datos fueron la base para la elaboración de publicaciones posteriores, tales como :

Estudios sobre erosión "La erosión en el Alto Papaloapan" (1965), este trabajo muestra el alto grado de erosión, uno de los más graves del país en la Sierra Mixteca, presenta la existencia de una agricultura con ínfimos rendimientos que sustenta una población indígena en pésimas condiciones socioeconómicas. Debido a tales condiciones el estudio plantea un proyecto para el mejoramiento del medio ambiente y de la vida de sus moradores del alto Papaloapan mediante un plan de conservación y restauración a corto y mediano plazo.

"El Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan" (1975), el cual consta de tres capítulos climatología, hidrología y aspectos meteorológicos, este trabajo es uno de los primeros que intenta establecer un análisis y correlación entre los aspectos antes mencionados. Arroja como resultados los primeros mapas sobre temperatura, precipitación, climas, distribución espacial y temporal de los vientos dominantes, de la evapotranspiración, insolación, humedad, elaborando resultados con promedios anuales y mensuales, además de describir las condiciones metereológicas (huracanes y tormentas tropicales) en las que se presentaron grandes inundaciones en un periodo comprendido entre 1944 y 1970.

Memoria de la Comisión del Río Papaloapan Tomo I y II (1990) estos dos tomos resumen el trabajo de la Comisión del Papaloapan desde su creación hasta su liquidación (1947-1988).

Describe las características naturales de la cuenca, así como también las actividades económicas que se llevaron a cabo y las obras de ingeniería que se construyeron en la misma, menciona los logros obtenidos con los planes y proyectos que se realizaron. Se observa en la narración del documento que el ejercicio de los proyectos de ingeniería, agropecuarios y de conservación ambiental en la cuenca Alta, se llevaron a cabo tan sólo en los primeros 20 años de la comisión (1947-1967) y posteriormente los financiamientos fueron muy limitados y la Comisión del Papaloapan restringió sus actividades a la recopilación de la información hidrometeorológica. Por ello las memorias no muestran las condiciones ambientales y socioeconómicas que presentaba la cuenca del Papaloapan en los últimos años de operación (1968-1988).

Entre los trabajos de tesis se encuentran "Problemas de inundación entre los ríos Obispo-Papaloapan, Ver" tesis de licenciatura. (A. Jácome Lara, UNAM, 1979) donde se plantea una descripción de la subcuenca del Río Obispo en los aspectos físicos : geología, topografía, clima, hidrografía, vegetación y edafología, así como aspectos socioeconómicos y del uso del suelo mencionando los cultivos que se llevan a cabo y la consecuente afectación por la presencia de las inundaciones. El autor realiza recomendaciones sobre obras de ingeniería para evitar los problemas de inundación, pero lo hace desde un punto de vista de protección local, tomando en cuenta sólo la subcuenca del Río Obispo.

"Aplicación de un modelo de flujo en la llanura de inundación del Río Papaloapan para el análisis de proyectos de obras de protección para el control de inundaciones" (Pelcastre, 1995). Esta tesis busca, por medio de un modelo hidráulico-matemático, apoyar la planeación de la construcción de obras de ingeniería, para disminuir el problema de las inundaciones. Abarca en su análisis toda la cuenca como una unidad integral, pero sólo desde un punto de vista de obras de construcción. Presenta varias opciones de obras para dar una mayor salida a los flujos de agua, tanto en la cuenca alta a través de la construcción de presas en las corrientes de la margen derecha del Papaloapan, como de bordos de protección sobre estos mismos ríos en su trayectoria por la llanura, además de la implementación de canales de alivio que impidan la llegada de los afluentes al Papaloapan y desborden sus aguas directamente al mar.

"Diagnostico sobre la seguridad integral de la cuenca del Río Papaloapan" Tesis de Licenciatura (Morales y Méndez 1997) este trabajo presenta un claro y concreto panorama de las condiciones en las que se encuentra la cuenca del Papaloapan, tomando aspectos principalmente hidrológicos, e información técnica sobre las condiciones de las obras de ingeniería tales como presas, bordos de protección, alcantarillas. Analiza como ha funcionado el control de las avenidas en las presas en condiciones normales y durante avenidas extraordinarias, obteniendo estimaciones sobre las áreas afectadas y el número de población afectada a nivel municipal. Los autores mencionan que los ríos que confluyen en la llanura baja del Papaloapan han presentado en los últimos 8 años, abundantes azolves consecuencia del control que ejercen las presas, las cuales al evitar las grandes avenidas, facilitan la depositación de sedimentos al disminuir la capacidad de carga de la corriente. Proponen medidas de tipo ingenieril para la mitigación de las inundaciones, retomando estudios que llevó a cabo el IMTA y propone proyectos de estudio para el buen funcionamiento de presas, bordos de protección, alcantarillas, además de la rehabilitación de estos dos últimos.

Entre los informes técnicos se elaboró el " Estudio hidráulico del Río Papaloapan desde la presa Miguel Alemán y Miguel de la Madrid hasta su desembocadura al mar" (Fuentes et al. 1994), busca obtener con base en los registros de los gastos hidrométricos, la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones, obteniendo una probabilidad de 1.2 años para que el caudal de los ríos del bajo Papaloapan rebase su capacidad de conducción y se presenten las inundaciones. Los autores realizan una estimación del tiempo de retorno de las inundaciones de 1 año hasta una proyección de 50 años ; dichos resultados son utilizados en un modelo matemático que simula un modelo de flujo. Con base en los resultados obtenidos de esta simulación, los autores proponen acciones como son : dezasolves en ciertos puntos del curso que permitan aumentar la capacidad de conducción del cauce además de la construcción de canales de alivio para otros puntos del bajo Papaloapan. Este modelo permitió la simulación de la conducción de las corrientes tomando en cuenta las obras propuestas. El reporte presenta un estudio de costos, para determinar varias posibilidades de operación.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar espacialmente la vulnerabilidad ante procesos de inundación en la llanura baja del Río Papaloapan, considerando los elementos naturales y antrópicos que participan y los aspectos socioeconómicos afectados por dicho proceso.

### Objetivos Específicos

Caracterizar, interrelacionar y analizar los elementos naturales y antrópicos que intervienen en el desarrollo de los procesos de inundación.

Representar espacialmente los niveles del peligro natural inundación.

Recopilar, interrelacionar y analizar la información sobre las actividades humanas en la zona de estudio.

Expresar espacialmente la vulnerabilidad social ante procesos de inundación.

## I. MARCO TEÓRICO

Existe una gran variedad de términos para señalar los diferentes conceptos utilizados en el estudio de los fenómenos naturales que han generado pérdidas humanas y materiales, tales como "desastres naturales", "riesgos naturales", "vulnerabilidad ambiental", "vulnerabilidad social", "peligro natural", etc.

Actualmente los fenómenos como inundaciones, sequías, deslizamientos de tierras, generan mayores pérdidas de vidas y desequilibrios socioeconómicos que en décadas atrás, sobre todo en países pobres de América Latina, Asia y África. Este aumento se debe sin duda a las condiciones de extrema pobreza de la población, la cual es obligada a establecerse en áreas con peligro o riesgo ante alguno de los fenómenos antes mencionados.

Sin embargo dirigir el estudio de este tipo de fenómenos desde un punto de vista puramente social, conlleva a la parcialidad en la comprensión del problema, sobre todo para un estudio de tipo geográfico. Un ejemplo de ello lo constituyen las inundaciones, ya que al tomar solamente las causas sociales del por qué la población se ubicó en lugares de riesgo, sin considerar las condiciones naturales, acarrearía la desactualización del problema, sobre todo en cuencas donde se han llevado a cabo modificaciones en la cubierta vegetal, azolvamiento de los cauces fluviales, construcciones de presas, bordos de protección, carreteras, etc. , condiciones que generan que la dimensión de las inundaciones sea distinta y en donde sitios que anteriormente no se inundaban hoy día constituyen un área con riesgo de serlo.

Las modificaciones antrópicas en detrimento de la naturaleza, generan que el comportamiento natural de las inundaciones también sea más complicado, generando cambios en la respuesta y concentración de los escurrimientos. Y es por ello que el estudio y análisis de los elementos naturales originales y modificados, que estudian las ciencias naturales constituyen parte fundamental en la determinación del peligro de inundación.

La participación de las ciencias naturales y las sociales en los estudios de vulnerabilidad a inundación son imprescindibles, dejar fuera a alguna resulta un error ante la complejidad que presentan el desarrollo de las inundaciones.

Es por ello que el presente trabajo no pretende realizar una crítica y explicación extensiva de los términos, ni mucho menos, crear nuevos conceptos que aumenten la confusión, por lo cual se retoman algunos términos establecidos en otros estudios y que se consideran apropiados.

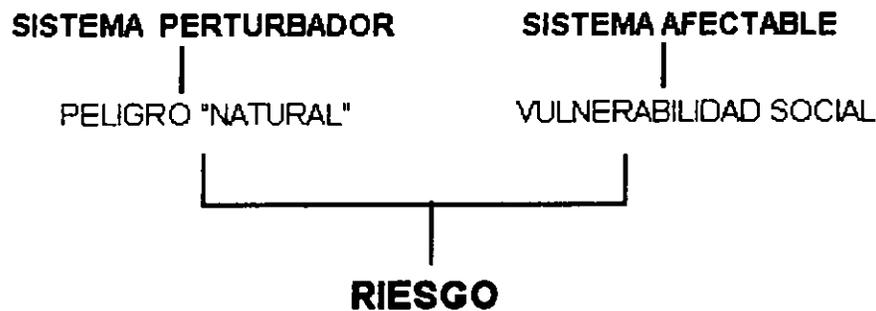
A los fenómenos naturales peligrosos se les ha denominado *sistemas perturbadores* y están integrados por todos aquellos fenómenos capaces de romper el equilibrio social y económico del hombre.

La *peligrosidad natural* se entiende como el grado relativo de probabilidad de que ocurra un evento amenazador o peligroso (Cooper, 1985 en: Maskrey, 1993), que en este caso son las inundaciones. El nivel del peligro depende del tipo, magnitud, ocurrencia y correlación entre los fenómenos naturales implicados en el desarrollo de las inundaciones. El peligro que ejercen algunos fenómenos naturales sobre los elementos humanos, presenta actualmente mayores dimensiones de lo que manifestaban en tiempos pasados. Este es el caso de las inundaciones y las sequías, como consecuencia de las alteraciones que el hombre ha efectuado sobre la cubierta vegetal, teniendo así que el *peligro "natural"* hoy en día no es tan natural. El presente trabajo adopta el término de "peligro natural", aunque en el vayan implícitas causas de tipo antrópico, la cual resulta ser catalizadora en la magnitud de los fenómenos naturales.

La contra parte del *peligro "natural"* (sistema perturbador) es la *vulnerabilidad social* (sistema afectable). El sistema afectable está integrado por la población y diversos componentes del desarrollo humano, entre los que destacan el uso del suelo, la vivienda, el equipamiento, la infraestructura y servicios, así como la vialidad y transporte, los cuales al estar expuestos al impacto del "fenómeno destructivo", pueden sufrir daños.

La vulnerabilidad social se define como una medida que indica qué tan propenso es el sistema afectable a los daños que pueda causar el impacto de un "fenómeno destructivo", esto es, mide la fragilidad con que el sistema cambia de un estado normal a uno de desastre. Esta vulnerabilidad depende de las propias condiciones y características del mismo sistema, tales como la densidad de la población, el tipo de construcción y el mantenimiento de las obras que mitigan los efectos del fenómeno. La vulnerabilidad social es mayor cuando la situación económica es precaria, las viviendas se encuentran mal construidas y/o mal ubicadas, etc. (Markrey, 1993).

Finalmente en el trabajo se determina el riesgo como el concepto integrador del peligro "natural" y de la vulnerabilidad social. El riesgo se entiende así como conformador de elementos de origen natural y antrópicos generadores de un determinado fenómeno, así como los elementos humanos afectados por el mismo (Figura 1), (Wilches, 1993 en: Maskrey, 1993).



**Figura 1. Concepto integrador de la vulnerabilidad a inundaciones**

En el caso de las inundaciones, para definir el grado de vulnerabilidad es necesario evaluar los factores que condicionan el peligro "natural" de inundación y la vulnerabilidad social a tal fenómeno. El peligro "natural" de inundación depende, entre los elementos más importantes, de las condiciones hidrometeorológicas, de las formas del relieve y de la constitución de la cubierta vegetal, así como de sus modificaciones.

La vulnerabilidad social de una zona depende de las características de la infraestructura, de los asentamientos humanos y de su fragilidad ante la presencia de una inundación; así como de las obras para mitigar el fenómeno.

El peligro "natural" de inundación así como la vulnerabilidad social se conforman a partir de una serie de variables, todas relacionadas entre sí, en la mayor parte de ellas tienen una expresión espacial, y de otras que forman parte de un banco de datos, correlacionable con la información espacial.

El peligro "natural" de inundación en este trabajo queda dividido en cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto; el cual depende de la implicación o suma de los diferentes elementos que favorecen el desarrollo de las inundaciones.

Mientras que la vulnerabilidad social expresa la fragilidad de la población y de las actividades humanas, dividida también en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto.

La suma de los diferentes niveles del peligro "natural" de inundación más la adición de las categorías de la vulnerabilidad social, expresan el valor final del riesgo ante el desarrollo de procesos de inundación en la zona de estudio.

## II. METODOLOGÍA

El objetivo de nuestro trabajo es representar espacialmente el riesgo de inundación, basado en dos consideraciones: 1) el análisis de las relaciones funcionales que presentan los factores naturales y antrópicos en la distribución espacial de las inundaciones. Y 2) considerar la susceptibilidad de afectación que los elementos humanos puedan sufrir ante tal fenómeno.

El riesgo ante procesos de inundación engloba así, el peligro "natural" de inundación y la vulnerabilidad social. Con el fin de determinar ambas variables es necesario evaluar y analizar diferentes tipos de datos, tomando en cuenta información que puede ser representada espacialmente y otra que forma parte de un banco de información no referenciada geográficamente de forma directa.

Para determinar el peligro "natural" de inundación se contempla información sobre los factores naturales que intervienen en los procesos de inundación no solamente en una porción de la llanura baja del Río Papaloapan, sino también se consideran otros factores naturales imprescindibles para dichos procesos, que abarcan la totalidad de la cuenca, ya que su presencia se manifiesta en la cuenca alta pero sus repercusiones impactan en la porción baja de la misma.

La información relativa al peligro de inundación y a la vulnerabilidad social queda esquematizada en la figura 2.

La información empleada en la determinación de la vulnerabilidad de inundación se divide a su vez en dos tipos :

- a) La información espacial
- b) La información no espacial

a) La información espacial : Es aquella que es posible referenciar geográficamente. La representación espacial permite conocer las dimensiones, distribución y características de la información a considerar. El tratamiento de los datos se realiza utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc/info, herramienta que facilita la determinación espacial tanto de los grados de peligro natural como de los niveles de vulnerabilidad social.

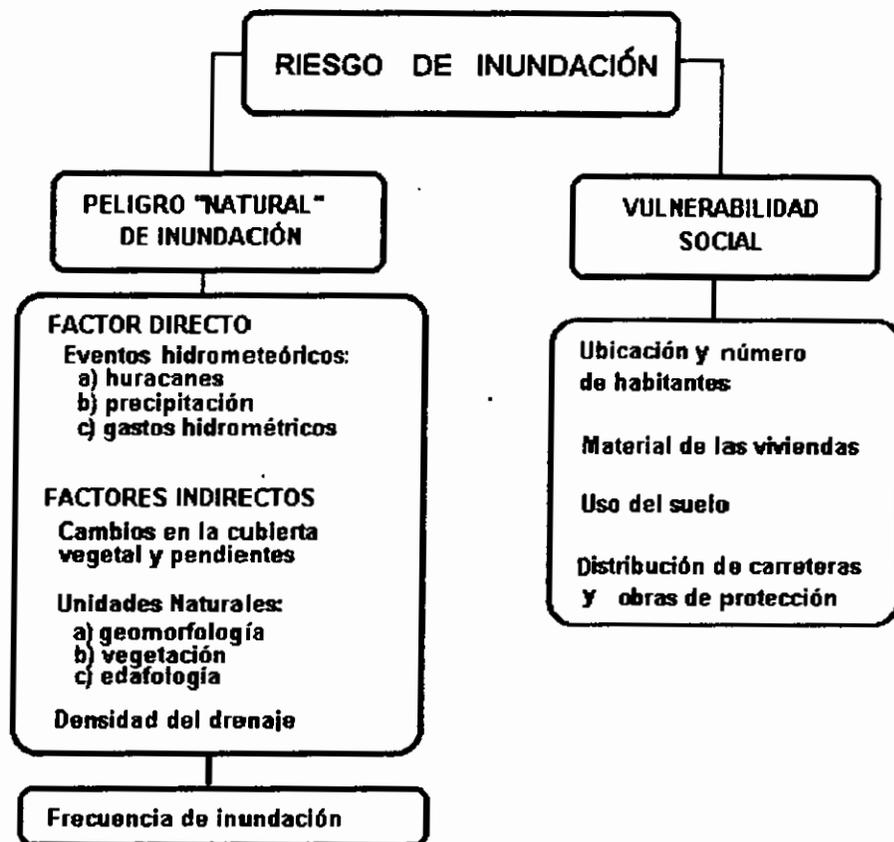


Figura 2. Esquema de la vulnerabilidad a inundación

La información que forma parte del grupo con características espaciales son: Las unidades naturales (geomorfología, vegetación y edafología), la densidad del drenaje, la distribución de la lluvia registrada durante varios procesos de inundación, los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca, las pendientes de la cuenca, el uso del suelo, la distribución de carreteras, la ubicación de las localidades asociada al número de habitantes, tipo del material de las viviendas y datos de frecuencia de inundaciones.

La información espacial está representada por polígonos que forman áreas, vectores que constituyen líneas y por puntos. La información espacial que está representada por polígonos corresponde a las coberturas de las unidades naturales, la densidad del drenaje, el uso del suelo, los cambios en la cobertura vegetal y las pendientes. Las coberturas vectoriales que representan líneas corresponden a la información de carreteras.

Y el último elemento es la representación puntual, la cual corresponde a la localización de las poblaciones, la cual está asociada al número de habitantes, tipo de materiales de las viviendas y a la frecuencia con la que se han inundado dichas localidades.

b) La información no espacial: Es la información que no es posible referenciar geográficamente de forma directa, pero que debido al papel tan importante que juega en el proceso de inundación, es imprescindible considerarla. Esta información corresponde a los gastos hidrométricos, de los cuales la ubicación puntual es fácil de referenciar en un mapa, pero no así la repercusión areal que implica su presencia; la información se maneja en una base de datos que posteriormente se relaciona espacialmente. Así como también la información de las perturbaciones atmosféricas, las cuales son las causantes directas de las intensas lluvias y los altos gastos hidrométricos, pero su representación espacial en la mayoría de los casos ni siquiera se ubica dentro de la cuenca de estudio.

En el caso de la información de los eventos hidrometeorológicos, aún sin tener una representación espacial, es posible vincularla por su influencia espacial en el desarrollo de los procesos de inundación, al relacionar las características de dichos eventos con la caracterización del resto de los factores naturales que sí cuentan con una representación espacial.

## **PELIGRO “NATURAL” DE INUNDACIÓN**

Para la determinación de los niveles del peligro “natural” de inundación, se requirió de la integración de información sobre los elementos naturales y antrópicos representados de forma espacial o no espacial que participan en el fenómeno. Dicha determinación se lleva a cabo a través de diferentes pasos a seguir.

### **EVENTOS HIDROMETEREOLÓGICOS**

El presente trabajo primero consideró el factor hidrometeorológico por contener los elementos directos generadores de las inundaciones. El análisis de los eventos hidrometeorológicos, se encuentra integrado por los gastos hidrométricos, la distribución de las lluvias cuando ocurrieron inundaciones y la presencia de las perturbaciones atmosféricas.

La base de datos de la información hidrometeorológica permite caracterizar las condiciones meteorológicas en las cuales se inician los procesos de inundación. Establece la tendencia de la precipitación y los gastos hidrométricos a través del tiempo, determina los rangos hidrométricos en los cuales se producen las inundaciones al conjugarse las diferentes corrientes fluviales y al mismo tiempo relaciona las características de las perturbaciones atmosféricas que dieron lugar al proceso de inundación.

El análisis antes mencionado es posible a través de los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la información de la Comisión de Papaloapan, registros hidrométricos de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la información climatológica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

El manejo de la información hidrometeorológica es laborioso y difícil, ya que la llanura baja del Río Papaloapan cuenta con varias corrientes. Y también es común encontrar que la información está incompleta o cubre periodos de información distintos entre las estaciones manejadas y entre los diferentes elementos a considerar.

No obstante el análisis de perturbaciones atmosféricas, precipitación y gastos hidrométricos, otorga información que puede ser analizada de forma conjunta debido a la correspondencia que tienen los diferentes elementos que participan.

Los datos de *gastos hidrométricos* provienen de 5 estaciones hidrométricas ubicadas en corrientes que confluyen y se localizan cerca de la zona de estudio. La información cubre desde 1947 hasta 1996, periodo que varía según cada estación. Se manejan los datos de los registros durante la presencia de una inundación, así como las máximas anuales, las cuales sirven para observar la tendencia de las avenidas a través del tiempo.

La información hidrométrica registrada cuando han ocurrido inundaciones, se simplifica por medio del manejo estadístico de los eventos, tomando en cuenta la presencia de gastos similares para llevar a cabo una clasificación jerárquica de los datos.

Esto con el objeto de agrupar procesos de inundación que se iniciaron bajo circunstancias parecidas; reconociendo así las diferentes condiciones en las que se producen inundaciones con distinta magnitud, así como la frecuencia con la que aparecen.

El resto de los elementos que constituyen los factores hidrometeorológicos se analizan en función de los resultados que arroje la jerarquización de los gastos hidrométricos, con la finalidad de agrupar condiciones con características similares considerando la distribución de las precipitaciones y la presencia de las perturbaciones atmosféricas.

La información sobre las precipitaciones cuenta con una representación espacial cuando ocurrieron inundaciones. Los mapas de la distribución de la precipitación corresponden al periodo de 1944-1969, que elaboró la Comisión del Papaloapan. La información utilizada son datos de la precipitación que registraron las estaciones cuando se presentaron las grandes avenidas y también son manejados datos de precipitación total anual, con el objeto de analizar las tendencias de éstos a través del tiempo.

La base de datos para las perturbaciones atmosféricas cuenta con la información de los registros de huracanes, tormentas y depresiones tropicales desde 1944 hasta 1996, en los cuales se analizan su trayectoria y características.

El manejo de la información de los elementos hidrometeorológicos antes mencionados es básico en un estudio sobre inundaciones, pero su representatividad queda circunscrita tan sólo a la estación hidrométrica en donde se efectúa la toma de la información (a excepción de la precipitación). Y para el caso de los huracanes y tormentas tropicales se fundamenta sólo en la descripción de las características del fenómeno.

Por ello se considera de gran utilidad concentrar los elementos hidrometeorológicos en una tabla basada en la jerarquización estadística de los gastos hidrométricos. La tabla resume y agrupa las diferentes inundaciones, presentando para cada uno de los grupos o escenarios propiedades y/o datos que ocurrieron de forma similares, tanto de las perturbaciones atmosféricas, los valores de los gastos hidrométricos y los datos de precipitación.

## CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL Y PENDIENTES

La segunda parte del trabajo contempla el análisis de los cambios en la cubierta vegetal y la relación que presenta con las características de la pendiente en toda la cuenca, combinación que repercute en el desarrollo de los procesos de inundación en la llanura baja del Papaloapan.

Las modificaciones en la cubierta vegetal se obtienen con base en la información de la interpretación del uso del suelo y vegetación de imágenes de satélite Landsat MSS, del año 1973, y de la interpretación que realizó INEGI con imágenes Landsat TM en 1993. El mapa de las modificaciones se realizó mediante la sobreposición de la información de ambas fechas, para determinar la superficie de vegetación deforestada en las subcuencas del Río Papaloapan. El estudio en los cambios de la cubierta vegetal es importante, porque con ello se crean condiciones que magnifican los procesos de inundación.

La obtención del mapa de pendientes de la cuenca del Río Papaloapan, se obtuvo con base en un modelo digital de terreno (MDT), material proporcionado por INEGI.

La elaboración de un mapa de pendientes en un estudio sobre inundaciones se considera elemental, ya que la respuesta de los escurrimientos es más rápida en subcuencas que mantienen áreas con pendientes fuertes; en contraste, las subcuencas con mayor porcentaje de superficie con pendientes suaves tendrán estancamiento y una mayor dificultad de drenar el agua de lluvia.

El mapa de pendientes en un principio contó con ocho rangos: 1)  $<0.5^\circ$ ; 2)  $0.5^\circ-1.5^\circ$ ; 3)  $1.5^\circ-3^\circ$ ; 4)  $3^\circ-6^\circ$ ; 5)  $6^\circ-10^\circ$ ; 6)  $10^\circ-20^\circ$ ; 7)  $20^\circ-30^\circ$  y 8)  $<30^\circ$ , pero posteriormente se agruparon al considerar que la erosión se califica de moderada hasta alta a partir de los  $6^\circ$  de pendiente, por tal razón el mapa final de pendientes se agrupa en dos: 1) las pendientes menores y 2) las pendientes mayores a  $6^\circ$ , facilitando al mismo tiempo el análisis en la determinación del peligro de inundación.

## UNIDADES NATURALES

El tercer paso se concentró en las características que manifestó el paisaje, determinando con ello las unidades naturales y se realizó la cuantificación de la longitud de los cursos

fluviales obteniendo el mapa de densidad del drenaje. Ambos pasos se expresan espacialmente y abarcan sólo la zona de estudio.

La generación de la cobertura de las unidades naturales, es el resultado de la sobreposición de la información geomorfológica, del tipo de vegetación y edafología. La cobertura de unidades naturales sintetiza con base en los temas ya mencionados las características del paisaje, definiendo unidades con propiedades de respuesta homogénea ante procesos de inundación.

La información geomorfológica se elabora a través de la interpretación de fotografías aéreas escala 1:75,000 (1972) e identifica áreas que debido a sus características morfológicas son más susceptibles de ser inundadas. La identificación de las geoformas está apoyada con información recopilada en campo.

La información sobre vegetación se obtiene también con base en la interpretación de las fotografías aéreas 1 :75,000 (1972). Se busca delimitar la vegetación natural (con menores modificaciones) obteniendo con ello, la distribución de las comunidades vegetales que se desarrollan en medios donde las condiciones de humedad son altas, para identificar así zonas con condiciones de estancamiento de agua.

La capa de información edafológica se obtiene de la carta edafológica 1 :250,000, (INEGI,1972), porque no se cuenta con información que proporcione un mayor detalle en la delimitación de las unidades edafológicas. La información edafológica es importante porque en función del tipo del suelo se presenta menor o mayor infiltración y ello repercute en el desarrollo de los procesos de inundación.

La conjunción de la información geomorfológica, de vegetación y de edafología, da como resultado el mapa de unidades naturales.

## DENSIDAD DEL DRENAJE

El cuarto paso toma en cuenta la red de drenaje considerando que se trata de un elemento natural que participa en el proceso de inundación. Para ello, se crea un mapa de densidad del drenaje que representa la longitud de la corriente o corrientes, en un espacio determinado; ya que a mayor densidad del drenaje más lenta es la evacuación en áreas

de llanura, en donde por consecuencia es mayor la posibilidad de inundación. Este índice se elabora mediante una retícula de 2.5 Km<sup>2</sup>, que según Lugo (1988) es adecuada para realizar mapas de densidad del drenaje a escalas 1 :50,000. Para obtener estos valores de densidad del drenaje de forma automatizada, se utilizó un programa elaborado por Cuevas (1993), que permite crear mapas de densidad de drenaje con base en la información vectorial de las corrientes fluviales.

#### “ANÁLISIS DE INFORMACIÓN MEDIANTE SIG”.

Finalmente para determinar los niveles del peligro “natural” de inundación se utilizan nuevamente los Sistemas de Información Geográfica Arc / Info y Arcview, este último proporcionó una salida de impresión fácil y de buena calidad para los fines del presente trabajo.

El manejo y análisis de la información en el SIG se llevó a cabo como lo expresa la Figura 3, realizando tres etapas para el manejo de la sobreposición de las coberturas y así obtener los niveles del peligro “natural” de inundación que son: nivel nulo, bajo, medio, alto y muy alto.

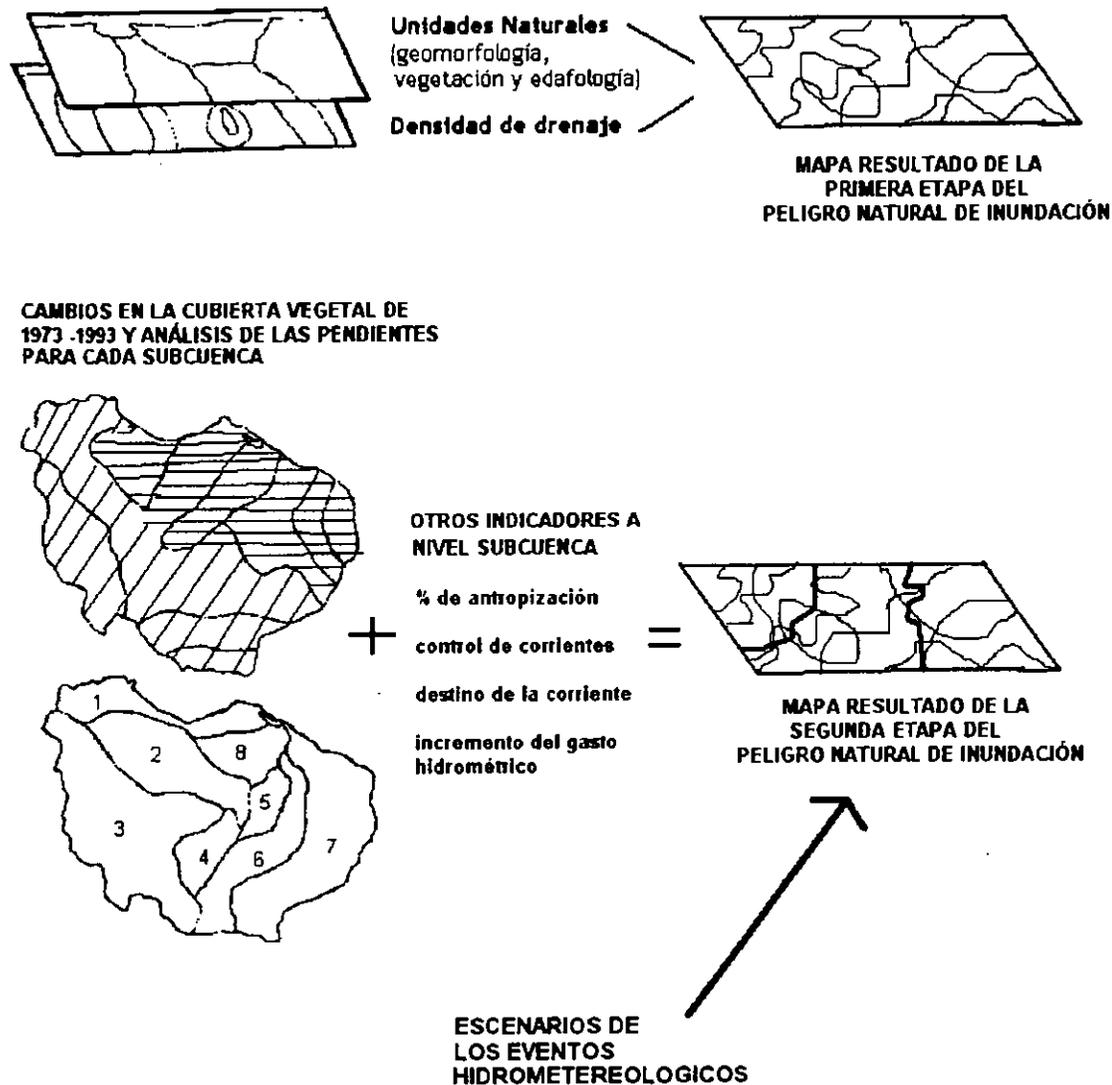
Las tres etapas mencionadas anteriormente son las siguientes:

- 1) la sobreposición de las coberturas de unidades naturales y la densidad del drenaje.
- 2) la sobreposición de los cambios en la cubierta vegetal y pendientes, donde se incluyen además de los cambios recientes con base a la información del 2000 (porcentaje de antropización). También en esta segunda etapa se incluyen otros elementos como: control de corrientes, destino de la corriente y las tendencias de los gastos hidrométricos.
- 3) la interrelación entre los escenarios hidrometeorológicos y el mapa del peligro “natural” de inundación producto de las etapas anteriores.

En la primera etapa se trabaja tomando en cuenta la superficie de la zona de estudio. Con el fin de determinar el peligro “natural” de inundación de forma clara y sintética, son

agrupadas las características de las unidades naturales, así como las de la cobertura de densidad del drenaje, sin que ello represente una pérdida de la información.

La agrupación en el caso de la cobertura de las unidades naturales responde a criterios geomorfológicos y edafológicos, considerando la participación que éstos puedan tener en la formación de los procesos de inundación.



**Figura 3.** Esquema de las tres etapas para la determinación del peligro "natural" de inundación.

Y para la cobertura de densidad del drenaje se consideran cuatro rangos: bajo, medio, alto y muy alto, tomando como base la información bibliográfica que así los agrupa. La sobreposición de las coberturas agrupadas define los siguientes grupos con las siguientes características (ver tabla 1).

<b>DENSIDAD DEL DRENAJE</b>	<b>UNIDADES NATURALES</b>					
	<i>Forma Negativa Drenaje Deficiente</i>	<i>Forma Negativa Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Neutra Drenaje Deficiente</i>	<i>Forma Neutra Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Positiva Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Positiva Drenaje Deficiente</i>
<i>D.D. Baja</i>	Alto	Medio	Medio	Bajo	Nulo	Nulo
<i>D.D. Media</i>	Alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo	Nulo
<i>D.D. Alta</i>	Muy alto	Alto	Alto	Medio	Nulo	Nulo
<i>D.D. Muy alta</i>	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Medio	Nulo	Nulo

Tabla 1. Determinación de la primera etapa correspondiente a la sobreposición entre las coberturas de las unidades naturales y la densidad del drenaje, ambas agrupadas

A las superficies resultantes de la sobreposición se les otorga un valor numérico considerando los niveles del peligro de inundación nulo = 0, bajo = 1, medio = 2, alto = 3 y muy alto = 4, todo ello con la finalidad de sumar estos valores para la determinación del peligro "natural" de inundación en la segunda etapa.

La segunda etapa es la suma de las condiciones que favorecen el desarrollo de los procesos de inundación. El análisis de esta etapa contempla los siguientes principios:

- 1) a mayor índice de antropización mayor peligro "natural" de inundación
- 2) Las corrientes no controladas tienen mayor peligro de inundación.
- 3) Si el destino final de la corriente desemboca directamente al mar representa menor peligro para los procesos de inundación.
- 4) Si una subcuenca presenta una tendencia al aumento en el gasto máximo hidrométrico cuenta con un nivel mayor de peligro de inundación.

En esta etapa, debido a la heterogeneidad de los elementos que componen el peligro de inundación sólo se evalúa en dos niveles bajo y alto, correspondiendo a los valores numéricos de 0 y 1 respectivamente. La tabla 2 muestra la determinación de los niveles del peligro de inundación basados en las siguientes características.

<b>NOMBRE SUBCUENCA</b>	<b>% ANTROPIZACION</b>	<b>CORRIENTE CONTROLADA</b>	<b>DESTINO DE LA CORRIENTE</b>	<b>INCREMENTO DEL GASTO HIDROMETRICO</b>	<b>NIVEL DE PELIGRO NATURAL DE INUNDACIÓN</b>
Río San Juan	-43%	NO	Río Papaloapan	SI	ALTO
Río Blanco	-18%	NO	Mar	NO	BAJO
Río Sto. Domingo	38%	SI	Río Papaloapan	NO	BAJO
Río Valle Nacional	78%	NO	Río Papaloapan	NO	BAJO

Tabla 2. Determinación de la segunda etapa del peligro "natural" de inundación.

La suma de las dos etapas permite representar espacialmente los distintos niveles de peligro de inundación considerando elementos espaciales, que se refieren sólo a zona de estudio (primera etapa), así como a otros que forman parte de la totalidad de la cuenca (segunda etapa).

Por otro lado en esta misma etapa se toma en cuenta la evolución de algunos elementos a través del tiempo, como son las tendencias que muestran los gastos hidrométricos, identificando las zonas con mayor peligro de inundación en el futuro.

La tercera y última etapa del peligro "natural" relaciona los resultados de las dos etapas anteriores con las características de los escenarios hidrometeorológicos, estableciendo la influencia espacial de las inundaciones.

### **FRECUENCIA DE INUNDACIÓN**

El siguiente paso consiste en la representación de la frecuencia de inundación obtenida de los registros de las inundaciones históricas, los cuales recopilan la información hemerográfica de tres periódicos estatales (*El Dictamen, Diario de Jalapa y Diario de Sotavento*), así como de los registros reportados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), y en los reportes de inundaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA) para la información de los años recientes.

Los registros de inundaciones históricas permiten evaluar la frecuencia en la que las localidades han sido afectadas, además de manifestar la fecha en que ocurrió dicho fenómeno.

### **VULNERABILIDAD SOCIAL**

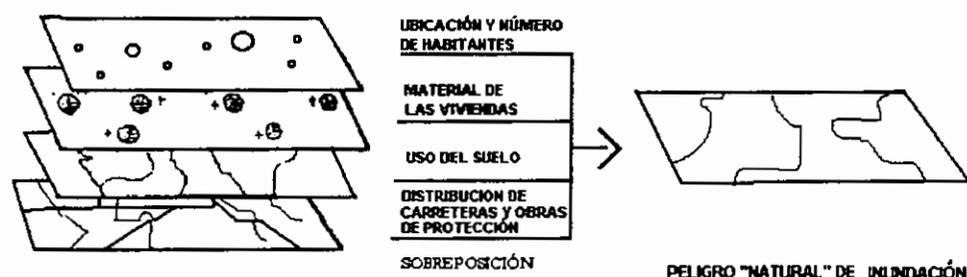
La vulnerabilidad social queda representada casi en su totalidad por elementos de tipo espacial a excepción de algunas de las características de las obras de protección.

Para determinar la vulnerabilidad social en la zona de estudio se contemplan los daños que pueden causar los procesos de inundación a la población y/o a sus actividades económicas.

La información que conforma el bloque de la vulnerabilidad social, no requiere de una explicación para observar la importancia que reviste. Los elementos de la vulnerabilidad

social están representados por la **ubicación y el número de habitantes, el material de las viviendas, el uso del suelo, la distribución de carreteras y obras de protección.**

El análisis de la vulnerabilidad social inicia con la sobreposición del mapa de localización de las poblaciones con el mapa del peligro "natural" de inundación, mostrando cuáles localidades y cuánta población se establece en los diferentes niveles del peligro de inundación. Así como también representando la vulnerabilidad que puedan tener las viviendas en función de la constitución de los materiales que las conforman y la susceptibilidad que las carreteras puedan sufrir con la presencia de las inundaciones (Figura 4).



**Figura 4. Determinación de la vulnerabilidad social en el curso bajo del Río Papaloapan.**

La información de la población se basó en el conteo nacional de INEGI, 1995. Las características de los materiales que constituyen las viviendas en la zona de estudio, se obtuvieron de la información del Censo de población y vivienda de INEGI, 1990.

La sobreposición de la cobertura de uso del suelo y la capa del peligro "natural" de inundación nos muestra la pérdida agrícola que puede ocurrir en caso de contingencia. El mapa de uso del suelo y vegetación se elaboró con base en fotografías aéreas escala 1:75,000 de 1972 actualizado con la información de imágenes de satélite (espacio mapa de INEGI 1 : 250,000, 1995).

La información de carreteras principales y secundarias fue facilitada por el Instituto Mexicano del Transporte actualizada y georreferenciada en 1995. La representación espacial de las vías de comunicación es fundamental entendiendo que son las salidas en caso de ocurrir una inundación. Además de ubicar cuáles de ellas se encuentran en un peligro de inundación alto y muy alto, lo que representaría la difícil evacuación de las personas.

Los datos de la construcción de obras de ingeniería (presas, canales de alivio, muros de contención, dragados, etc.) para controlar las inundaciones, se obtienen de la Comisión Nacional del Agua, delegación Jalapa, Ver.

## **MATERIALES**

Fotografías aéreas escala 1 :75,000 (1972)

Cartas topográficas escala 1:50,000 INEGI (1972)

Carta edafológica escala 1 :250, 000 INEGI (1972)

Espacio mapa 1:250,000 INEGI (1995)

Registros de huracanes 1944-1996 Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

Registros de huracanes pagina web. [w.w.w.weather.unisys.com](http://w.w.w.weather.unisys.com). University Purdue, U.S.A.

Extrato Rápido de información Climatológica, ERIC. IMTA.

Datos de precipitación (1944-1969) Comisión del Papaloapan, SARH

Gastos hidrométricos Boletines hidrométricos, Secretaria Recursos Hidráulicos (SRH)

Fuentes hemerográficas Diario de Sotavento, El Dictamen y Diario de Jalapa (1944-1992).

Imágenes de satélite (MSS y Landsat TM 1973 y 1993)

Información de carreteras Instituto Mexicano del Transporte (1994)

Censo de población y vivienda, INEGI (1990)

Conteo de población y vivienda, INEGI (1995)

### III. MARCO GEOGRÁFICO GENERAL

#### III.1 MEDIO FÍSICO

##### III.1.1 Localización, límites y extensión

La cuenca del Papaloapan cuenta con una 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; sin embargo la zona de estudio queda comprendida dentro del Estado de Veracruz, consta de una superficie aproximada de 3, 300 Km<sup>2</sup>, se ubica en la porción más inferior de la llanura baja del Papaloapan, en donde los procesos de inundación causan las mayores afectaciones (Figura 5).

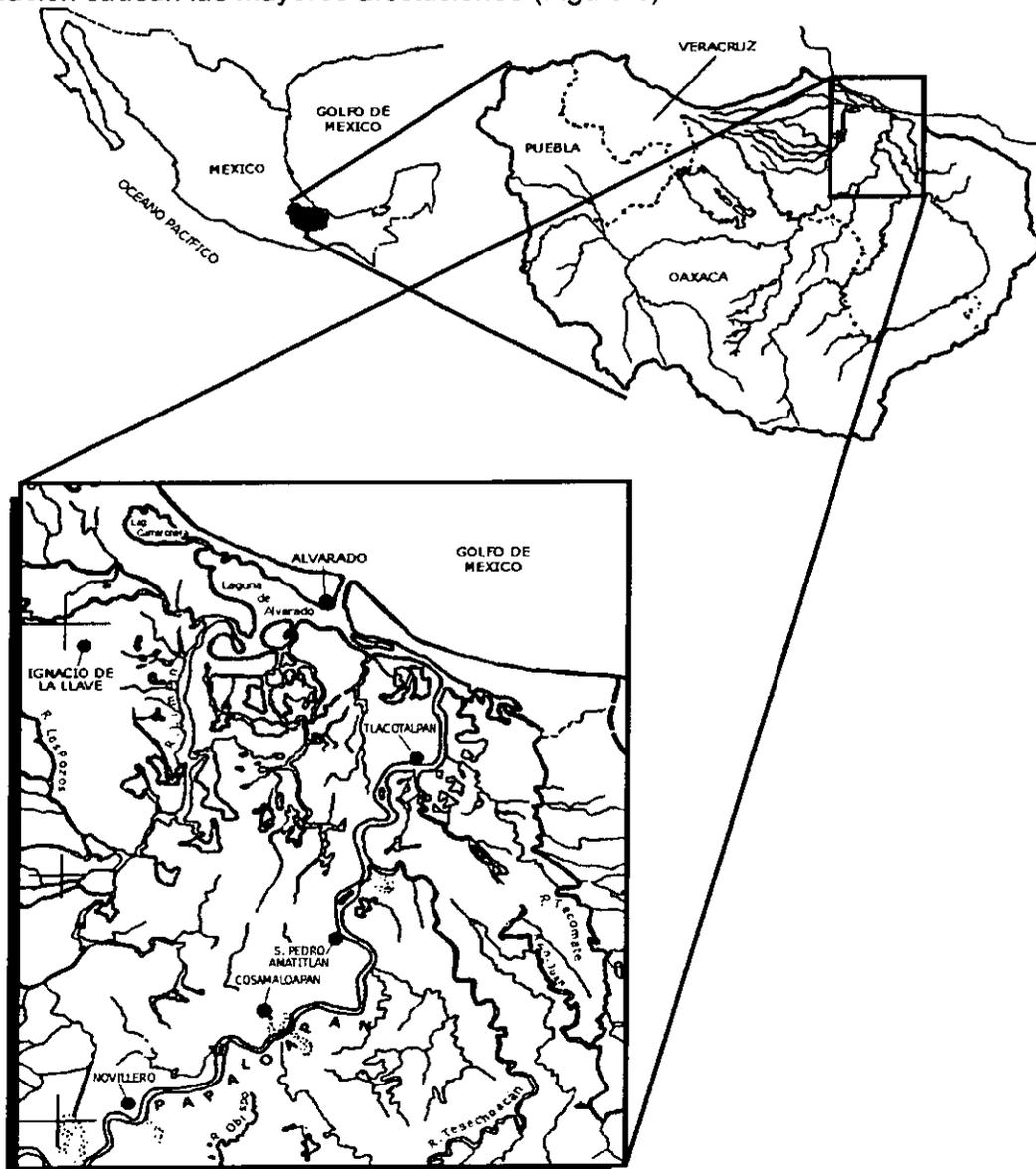


Figura 5. Localización de la zona de estudio con referencia en la cuenca del Río Papaloapan

La cuenca del Papaloapan colinda en la porción norte con las cuencas cerradas de Libres Oriental y Jamapa-Cotaxtla; al sur está limitada por la cuenca del Río Atoyac y Tehuantepec. Al este limita con el Golfo de México y la cuenca del Río Coatzacoalcos y al oeste con la cuenca del Río Balsas.

### III.1.2 Fisiografía y Geología

Las cimas más altas constituyen el parte aguas de la cuenca y entre ellas se encuentran en el extremo noroeste el volcán Citlaltépec o Pico de Orizaba (5,757 m.s.n.m) el más alto del país y hasta el extremo sureste el Zempoaltépetl (3,397 m.s.n.m), que corresponde a sistema montañoso de las Sierras de Oaxaca. Las partes más bajas de la cuenca del Papaloapan llegan a su nivel mínimo en la desembocadura, llegando al nivel del mar teniendo altitudes de hasta 0 m.s.n.m.

De los 46, 517 Km<sup>2</sup> que comprende la cuenca, aproximadamente el 45% corresponde a los terrenos planos y ondulados de la planicie costera y el 55% restante está constituido por la zona montañosa y quebrada de las sierras (SRH, 1977).

La cuenca del Papaloapan se encuentra conformada por ocho macizos montañosos; tres de ellos son de origen volcánico y de edad cuaternaria; 1) el bloque volcánico Xalapa al norte ; 2) al noroeste la Faja Neovolcánica Transmexicana representada tan sólo por una porción del volcán Citlaltépec (Pico de Orizaba), el cual marca el límite entre dos cuencas, y 3) macizo volcánico de los Tuxtlas en la porción más oriental de la cuenca (Figura 6).

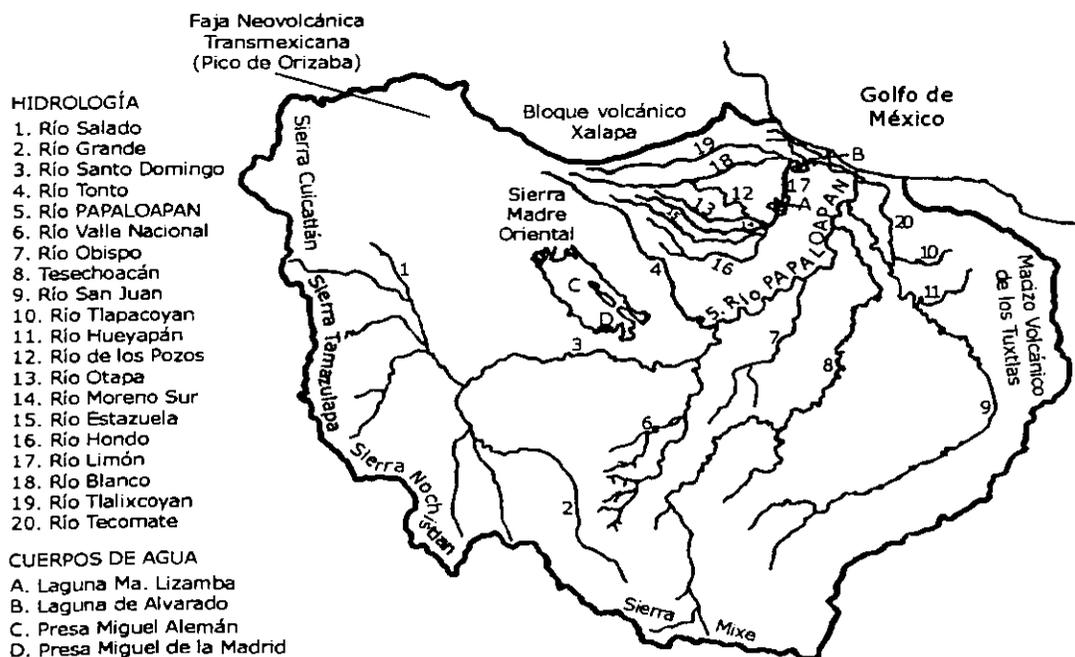


Figura 6. Ubicación de los macizos montañosos y las corrientes fluviales de la cuenca del Río Papaloapan

En la cuenca del Papaloapan las rocas sedimentarias de origen marino están representadas por 4) la Sierra Madre Oriental de edad Cretácica, ésta forma una franja montañosa con dirección noroeste-sureste, que baja de las estribaciones del Citlaltepec hacia el sureste y es continuada por las sierras de Oaxaca de origen metamórfico y volcano-sedimentario que constituyen los límites sur y oeste de la cuenca. Las sierras de Oaxaca están representadas por la sierra 5) Cuicateca, 6) Mixe, 7) Nochistlán y 8) Tamazulapa (Figura 6).

La sierra Cuicateca es de origen metamórfico y edad mesozóica, esta colinda con la Sierra Madre oriental y también conserva la misma disposición noroeste-sureste. Las Sierras Mixe, Nochistlán y Tamazulapa son todas de origen volcano-sedimentario continental del terciario; la primera de ellas representa el límite sur de la cuenca del Papaloapan y las dos últimas constituyen el límite oeste de esta misma (Figura 6).

Finalmente las aguas marinas del Golfo de México forman la frontera noreste y la desembocadura de la trayectoria final de los escurrimientos de la cuenca del Río Papaloapan (Figura 6).

El área de estudio desde el punto de vista geológico regional es una zona de subsidencia de cuencas marginales que se expresa superficialmente en el terreno con fenómenos de hundimiento (Rona, 1974), y forma parte de un geosinclinal (Lozano, 1954), término que se le atribuye a una fosa oceánica profunda y alargada de decenas y cientos de kilómetros. El desarrollo de un geosinclinal en el tiempo es prolongado; se considera una zona de transformación de la corteza oceánica en continental.

El desarrollo de un geosinclinal propicia la acumulación de potentes sedimentos marinos y en algunos casos volcanogénicos, que para el caso del Papaloapan llegan a 7,000 metros de espesor (Lozano, 1954). La acumulación de enormes espesores de rocas en áreas en donde se llevan a cabo fenómenos de subsidencia de cuencas geológicas marginales se traduce superficialmente en el terreno por fenómenos de hundimiento.

Este hundimiento puede ser causado por varios factores que van desde la contracción de la corteza terrestre por enfriamiento, hasta la rápida compactación de sedimentos costeros no consolidados. De acuerdo con Coleman y Roberts (1989, tomado de Ortíz, 1996), la tasa de subsidencia en las planicies de Louisiana es mayor a medida que la capa de sedimentos del Holoceno es más gruesa. Asimismo se ha encontrado que los sistemas de fallas activas ubicados debajo de los sedimentos holocénicos, tienden a incrementar dicha subsidencia (Ortíz, 1996).

Esto significa que la desembocadura del Río Papaloapan se establece en áreas que sufren un lento pero constante hundimiento por la subsidencia de cuencas marginales, proceso acelerado debido a la presión de los importantes espesores de sedimentos que forman el geosinclinal. El hundimiento geológico por subsidencia de cuencas marginales, favorece la presencia y acumulación de escurrimientos en la llanura baja del Papaloapan.

### III.1.3 Hidrología

En las sierras de Oaxaca nacen los ríos Salado y Río Grande formadores del Río Santo Domingo, al cual posteriormente se le suman los escurrimientos de la Sierra Madre Oriental que originan al Río Tonto dando formación al Río Papaloapan en la porción media de la cuenca junto con el Río Valle Nacional. Y aguas abajo se conecta por la margen derecha el Río Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista que también son afluentes del Río Papaloapan; todos estos ríos constituyen los drenajes mayores o ríos principales de la cuenca del Papaloapan, los cuales se desplazan predominante con una dirección hacia el noreste (Figura 6).

Los escurrimientos del macizo volcánico de los Tuxtlas forman ríos con menor trayectoria como son los Ríos Tlapacoyan, Hueyepan y otros que finalmente se unen al Río San Juan Evangelista y Río Tecomate, este último desemboca directamente en la Laguna de Alvarado (Figura 6).

Por la margen izquierda en la porción norte de la cuenca del Papaloapan se encuentran los ríos que no son afluentes del Río Papaloapan, pero que forman parte del sistema fluvio-lagunar de dicha cuenca, entre ellos se encuentra el Río de los Pozos, Otapa, Moreno Sur, Estanzuela y Hondo que descargan sus aguas en la laguna María Lizamba, la cual se encuentra comunicada en la porción más baja con la laguna de Alvarado a través del Río Limón (Río Camarón) (Figura 6).

Y también en la porción al norte de la cuenca del Papaloapan hacen su recorrido oeste-este los Ríos Blanco y Tlalixcoyan, los cuales se unen y desembocan directamente en la laguna de Alvarado (Figura 6).

### III.1.4 Clima

La cuenca del Papaloapan coincide con una de las áreas que registran la mayor concentración de precipitación de toda la República Mexicana (CNA, 1997) (Figura 7).

Dicha concentración del agua superficial es mayor en la vertiente del Golfo que en la vertiente del Pacífico (Brichambaut, 1958); por la presencia de los vientos húmedos del mar, asociados con los alisios, los cuales descargan su humedad sobre la vertiente costera, producto del efecto de pantalla que produce la Sierra Madre Oriental (Figura 7).

En las estribaciones de la Sierra Madre Oriental en las zonas de Chilchotla-Cataluña y San Lucas-Valle Nacional-Jacaltepec alcanzan precipitaciones anuales de hasta 4,000 mm, mientras en la planicie costera y en la Región de los Tuxtlas, se tienen valores entre 1,500 y 2,500 mm al año.

El gran volumen de agua superficial en la cuenca del Papaloapan, es generada por lluvias estacionales, por lluvias de origen ciclónico del Golfo de México y Océano Pacífico, además de la presencia de masas de aire frío que generan lluvias invernales (nortes), estos fenómenos aportan una gran cantidad de agua de escorrentía, la cual se desplaza en lo que constituye la cuenca del Papaloapan; en donde la posición noreste-suroeste de la cuenca coincide con la dirección de los vientos alisios, condición que favorece aún más el acopio de humedad (Figura 7).



Figura 7. Distribución de la precipitación media anual desde 1941 a 1996 (CNA, 1997)

La clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (1988), indica que la zona de 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.

Los elementos hidrometeorológicos antes mencionados de la cuenca del Papaloapan arrastran como consecuencia una acumulación de precipitación total anual de 1,500 a 2,000 mm (SARH, 1993) y un caudal en los ríos que alcanza desde 20,000 hasta 40,000 millones de m<sup>3</sup> de volumen medio anual (SARH, 1993).

### III.1.5 Vegetación

La cuenca del Papaloapan presenta una gran diversidad de comunidades vegetales desde bosques tropicales en la porción media de la cuenca hasta bosques de coníferas en la porciones más altas, los cuales alternan con una porción árida correspondiente al Valle de Tehuacan donde se presentan chaparrales y comunidades xerófitas. Por su parte las porciones bajas de la llanura de inundación presentan una vegetación totalmente modificada de pastizales cultivados y una agricultura de temporal que corresponde a cultivos de caña de azúcar, establecida en áreas ligeramente más altas de la planicie, las cuales ocupan preferentemente la margen izquierda del Papaloapan. Mientras en la porción costera se encuentran asociaciones de comunidades de tular (*Typha domingensis*) 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 donde se establece una vegetación de pastos inducidos y vegetación natural de dunas costeras.

### III.1.6 Suelos

Los tipos de suelo que corresponden al curso bajo del Río Papaloapan presentan pendientes muy bajas que junto con la importante concentración de los escurrimientos y la constitución de los materiales aluviales hacen posible la formación de suelos tipo Gleysol, los cuales son propios de sitios donde se estanca el agua, cuando menos en época de lluvias. Se caracterizan por presentar, en la parte en donde se saturan con agua, colores, azulosos o verdosos, que muchas veces al secarse y exponerse al aire se manchan de rojo.

En repetidas ocasiones estos suelos presentan acumulación de salitre y son muy poco susceptibles a la erosión ; las condiciones del medio influyen más tiempo en el suelo predominando la alteración química y por ello estos suelos tienen un gran espesor y un alto contenido de arcillas.

La margen izquierda del curso bajo del Río Papaloapan se presenta ligeramente más alta que el resto de la llanura, desarrollando en esta zona suelos Feozems, Vertisoles y Luvisoles todos ellos con importantes porcentajes de arcilla en la constitución de su textura, pero representan aproximadamente solamente una tercera parte en comparación con la superficie de los Gleysoles.

Los suelos del curso bajo del Papaloapan tienen una importante concentración de arcillas, característica que favorece el desarrollo de los procesos de inundación, debido a las propiedades expansivas e impermeables de estas mismas.

## III.2 MEDIO SOCIAL

### III.2.1 Municipios

La cuenca del Papaloapan está constituida por un total de 254 municipios ; 29 corresponden al estado de Puebla ; 62 para Veracruz y 163 para el Estado de Oaxaca.

De los 62 municipios del estado de Veracruz, 26 corresponden al bajo Papaloapan y 36 al alto Papaloapan, ambas zonas divididas por la cota de los 100 m.s.n.m. De los 26 municipios del bajo Papaloapan 11 son los afectados anualmente por las inundaciones, estos son : Acula, Amatitlán, Carlos A. Carrillo, Cosamaloapan, Chacaltianguis, José Azueta, Otatitlán, Playa Vicente, San Juan Evangelista, Saltabarranca, Tlacojalpan, Tlacotalpan y Tuxtilla, todos ellos quedan dentro de los límites de la entidad Veracruzana.

### III.2.2 Distribución y Densidad de la población

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 hab/km<sup>2</sup>; 23 hab/km<sup>2</sup> y 67 hab/km<sup>2</sup> respectivamente (INEGI, 1995).

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 la población del estado de Veracruz es afectada anualmente por las inundaciones, en lo que corresponde a los 11 municipios mencionados anteriormente (Morales y Mendez, 1997).

### III.2.3 Vías de acceso

La llanura baja del Río Papaloapan se encuentra comunicada por las siguientes vías de acceso; al sur se encuentra la carretera que viene de Tierra Blanca y va hacia Rodríguez Clara, esta misma tiene un entronque que se dirige hacia la llanura de inundación en dirección a la desembocadura del Papaloapan, en su trayectoria atraviesa poblaciones importantes como: Cosamaloapan, Carlos A. Carrillo y Tlacotalpan.

Por último, paralela a la costa y marcando el límite al norte de la llanura de inundación se encuentra la carretera que desciende de la población de San Andrés Tuxtla sobre las coladas lávicas, y circula posteriormente sobre las dunas costeras, en donde atraviesa por el Puerto de Alvarado y se dirige hacia la ciudad del Puerto de Veracruz.

#### IV PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN (P. N. I.)

La evaluación del riesgo "natural" de inundación para la zona de estudio contempla como se mencionó anteriormente factores naturales y factores antrópicos. Dichos factores pueden ser numerosos debido a la complejidad del problema, pero en el presente trabajo se consideran solamente aquellos que tienen una participación decisiva para que se lleven a cabo los procesos de inundación (Figura 8)

Entre los factores naturales destacan las características de los eventos hidrometeorológicos, siendo los factores directos para el desarrollo de las inundaciones, que junto con las modificaciones a la vegetación natural y su relación con la pendiente, acarrear como consecuencia que los procesos de inundación se desarrollen con mayor magnitud.

Los factores naturales restantes que intervienen en el desarrollo de las inundaciones participan de forma indirecta, pero su presencia es imprescindible en el proceso. Dichos factores están integrados por las características que presentan las unidades naturales, la densidad del drenaje y los cambios en la cubierta vegetal, así como de la interrelación de este último con las características de la pendiente (Figura 8).

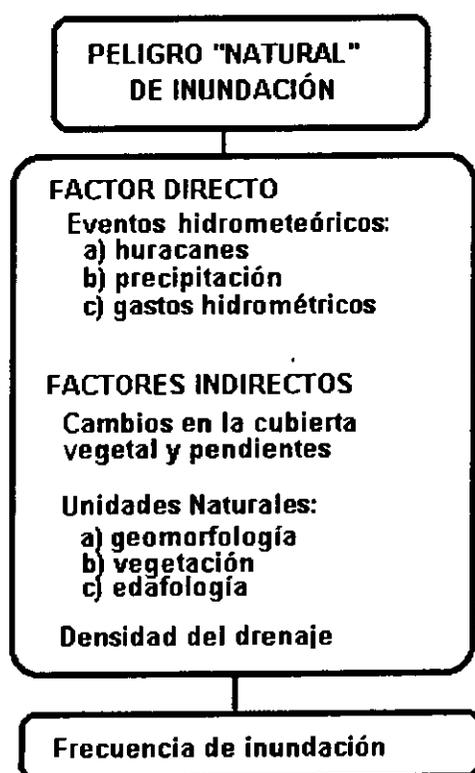


Figura 8. Factores y elementos que constituyen el peligro "natural" de inundación.

Algunos factores son analizados para la totalidad de la cuenca como los cambios en la cobertura vegetal, las pendientes y alguno de los factores hidrometeorológicos, debido a

las repercusiones que estos tienen llanura abajo. Mientras que otros factores son descritos y analizados para el área que corresponde a la zona de estudio.

La mayoría de los factores que conforman el peligro "natural" de inundación son manejados con una representación espacial, a excepción de dos elementos de los registros hidrometeorológicos (huracanes y gastos hidrométricos), pero como se explicó en la metodología es posible vincularlos como se verá más adelante. El análisis del peligro "natural" de inundación busca la representación espacial y para ello es necesario no dejar fuera ninguno de los elementos fundamentales que intervienen en el desarrollo de las inundaciones.

A continuación se describen los factores que se tomaron en cuenta para definir el peligro natural de inundación.

#### IV.1 EVENTOS HIDROMETEOLÓGICOS

Este capítulo presenta los datos sobre los eventos relacionados con el elemento agua entre ellos figuran los huracanes, las precipitaciones y los gastos hidrométricos. Todos ellos están estrechamente vinculados y los dos últimos son consecuencia del primero.

El análisis de los eventos meteorológicos es básico, ya que éstos son los factores directos que junto con las formas del relieve, son fundamentales para que se produzcan las inundaciones, cambiando las características de cualquiera de ellos, no es factible que se lleguen a desarrollar procesos de inundación.

Los elementos que constituyen los factores hidrometeorológicos como ya antes se mencionó, no cuentan con una representación espacial para la zona de estudio (con excepción de la precipitación 1944-1970). Y como el principal objetivo de este trabajo es determinar espacialmente la vulnerabilidad ante procesos de inundación, para lograrlo se relacionan los fenómenos hidrometeorológicos con las características representadas en las unidades naturales y los mapas de densidad del drenaje.

Los elementos que constituyen los factores hidrometeorológicos (F. H.) son: los huracanes, tormentas y depresiones tropicales, las precipitaciones, los gastos hidrométricos y las mareas (meteorológicas). En una primera parte se abordan las características generales de cada uno de los factores en la cuenca del Río Papaloapan y posteriormente se describen las características que han presentado al ocurrir una inundación; así como las interrelaciones entre ellos.

##### IV.1.1 Perturbaciones atmosféricas

Los huracanes así como las tormentas y depresiones tropicales son el primer elemento a tratar de los F. H.; ya que estos constituyen el motor para la producción de abundantes precipitaciones y altos gastos hidrométricos.

Los huracanes, tormentas y depresiones tropicales en nuestro país afectan tanto las costas del Golfo de México como las del Pacífico. El promedio anual en el que han

ocurrido huracanes y tormentas tropicales que afectaron costas mexicanas en el periodo de 1962-1986 son de 4.1 para el Pacífico noreste y para el Atlántico de 1.6 (Jáuregui, 1989).

El Servicio Meteorológico Nacional ha realizado desde 1920 los registros sobre las perturbaciones atmosféricas, utilizando dos clasificaciones en la denominación de los fenómenos meteorológicos. En una primera etapa se dividió a los eventos en ciclones y acicloneamientos (1930 -1965). Posteriormente y hasta la fecha se utiliza la denominación de huracán, tormenta y depresión tropical.

Los términos de ciclón y huracán son sinónimos y caracterizan a los fenómenos atmosféricos de gran magnitud, en donde predominan vientos que rebasan los 120 Km / h.

Mientras que el término acicloneamiento se utiliza para perturbaciones con vientos menores de 120 Km / h., este término posteriormente fue dividido en tormenta y depresión tropical, caracterizando la primera por tener vientos de 60 hasta 120 km / h y las depresiones por presentar vientos menores de 60 km / h., pero con una descarga de precipitación importante.

Según un trabajo de la Comisión del Papaloapan que abarca un periodo de estudio de 1944-1970, los ciclones con origen en Las Antillas Menores, corresponden a perturbaciones que han afectado en forma moderada a la Cuenca del Papaloapan, fluctuando en cercanía entre las distancias 100 y 400 km; mientras que los ciclones con origen en el Mar Caribe, pasan a una distancia mayor a 400 km de la cuenca, produciendo lluvias de menor importancia.

Las rutas ciclónicas con origen en el Océano Pacífico, penetran al territorio nacional por las costas de Chiapas y Oaxaca, tienen efectos importantes en la cuenca debido a la magnitud del gasto hidrométrico que producen. Según Kingma (1990) tormentas con igual cantidad de lluvia pero con distinta dirección producen diferente forma del hidrograma, es decir distinta concentración del agua de escurrimiento en el punto de desagüe de la cuenca (Figura 9).

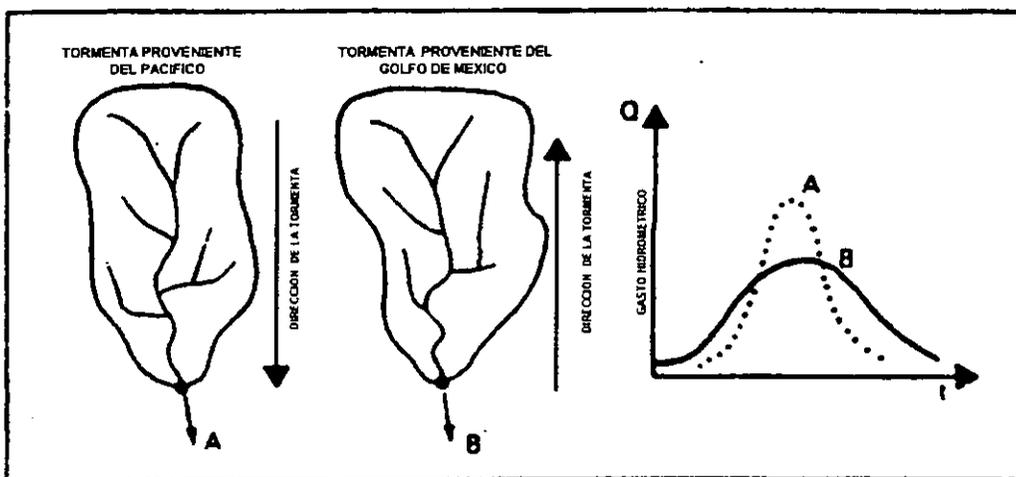


Figura 9. Influencia de la dirección de la lluvia en la forma del hidrograma (Kingma, 1990)

El efecto de los ciclones que tocan tierra por las costas de Jalisco y Sonora es moderado o poco según la Comisión del Papaloapan.

La frecuencia de los huracanes es mayor hacia fines del verano y principios del otoño entre los meses de septiembre y octubre.

#### IV.2.2 Precipitaciones

Como se mencionó en el marco geográfico general, las precipitaciones hacen de la cuenca del Río Papaloapan una de las áreas del país en donde se registran datos muy altos de precipitación, porque se encuentra expuesta a los vientos húmedos del mar, asociados con los alisios, los ciclones tropicales y los nortes. Durante el verano, con el desplazamiento hacia el norte del anticiclón del Atlántico Septentrional, dominan los vientos alisios, que con una dirección general de noreste a sureste, introducen una gran cantidad de humedad, la cual recogieron al pasar sobre las tibias aguas del Golfo de México.

La disposición de la cuenca del Río Papaloapan coincide con la dirección de los vientos alisios cargados de humedad (noreste-sureste). Al encontrarse con las laderas montañosas inclinadas hacia el Golfo de México, estas masas de aire se ven obligadas a ascender, se enfrían adiabáticamente y descargan su humedad. La cantidad de lluvia en verano, aumenta aún más por la presencia de las perturbaciones atmosféricas de huracanes, tormentas y depresiones tropicales.

El mapa de isoyetas medias anuales elaborado por la Comisión del Papaloapan muestra que se alcanzan valores de hasta 5,000 mm anuales de precipitación en la vertiente oriental de la Sierra Madre Oriental, principalmente en la subcuenca del Río Tonto y en la parte media del Río Santo Domingo donde se tienen valores por arriba de los 3, 500 mm. Mientras que en la región de los Tuxtlas se presentan precipitaciones de más de 4, 500 mm.

Aguas arriba del Papaloapan se encuentra un corredor de dirección noroeste-sureste con precipitaciones de 2, 500 a 3, 500 mm en el curso alto de casi todos los ríos de la cuenca, a excepción de los cursos de los Ríos Salado y Grande, que constituyen la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental; y son las áreas más secas de la cuenca. Mantienen valores menores de 600 mm de precipitación anual y una de estas áreas corresponde a la región árida de Tehuacán, Puebla. Por otro lado la porción del curso bajo del Río Papaloapan muestra valores de 1, 500 a 2, 500 mm de precipitación anual (Figura 10).

Según información de la SARH (1977) en la vertiente oriental de la Sierra Madre se localizan zonas con más de 200 días de lluvia mayores de 1 mm disminuyendo en dirección de la costa del Golfo hasta los 100 días, y en la Sierra de los Tuxtlas nuevamente se incrementa hasta llegar a más de 180 días en la parte más alta.

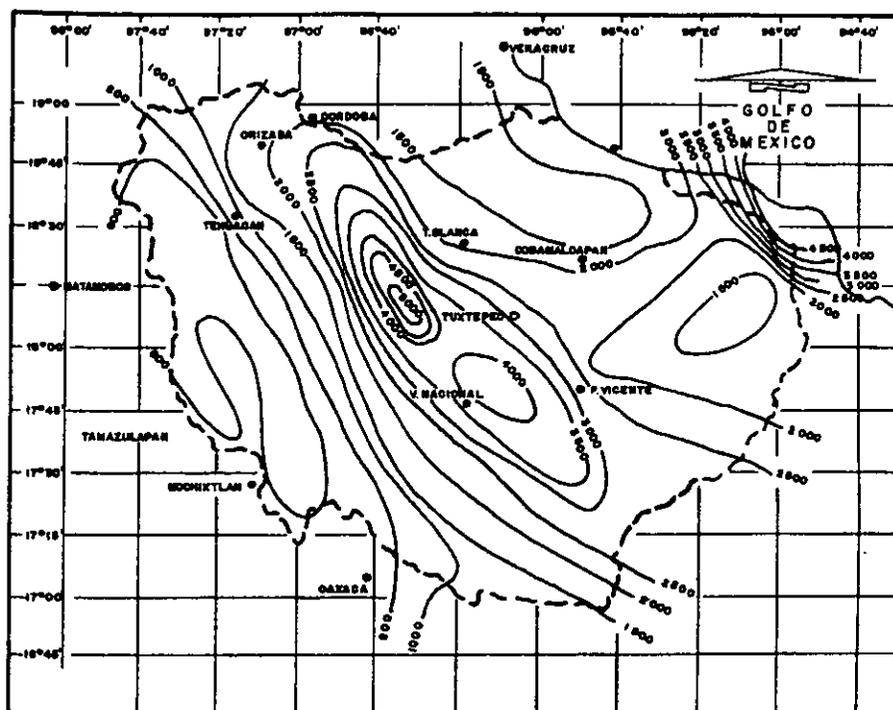


Figura 10. Mapa de isoyetas de la cuenca del Río Papaloapan (SARH, 1977)

#### IV.1.3 Gastos Hidrométricos

La cuenca del Río Papaloapan como se mencionó anteriormente cubre un área de 46, 517 km<sup>2</sup> en donde el gasto medio anual escurrido es de 681 m<sup>3</sup>/s. Si se comparan dichos datos con los valores de la cuenca del Río Santiago (la más grande del país), la cual presenta un área de 129, 263 km<sup>2</sup> y un gasto medio anual de 268 m<sup>3</sup>/s; es notable observar que el gasto fluvial de la cuenca del Papaloapan es 2.5 veces mayor, no obstante presenta una superficie casi 3 veces más pequeña que la del Río Santiago. Esto significa que la cuenca del Río Papaloapan conduce una gran cantidad de agua escurrida en comparación con la superficie que presenta.

Los escurrimientos de la cuenca provienen de 8 subcuencas, de las cuales se señala a continuación la superficie y el gasto medio anual.

De estas 8 subcuencas 2, la del los Ríos Tonto y Santo Domingo, se encuentran controlados por las presas de Temascal y Cerro de Oro, ya que en ellas se registra la concentración más alta de precipitación para la cuenca. Pero quedan sin control de avenidas seis corrientes tributarias principales que en suma concentran un volumen de 26,697 millones de m<sup>3</sup>, el cual equivale al 60% del volumen medio anual de la cuenca (Figura 11).

Durante la gestión de trabajo de la Comisión del Papaloapan en la cuenca del mismo nombre, se incrementó el número de estaciones hidrométricas, teniendo hasta 49 para 1970, actualmente se encuentran 20 operando (SARH, 1975 y Morales y Méndez, 1996).

	SUBCUENCA	SUPERFICIE Km <sup>2</sup>	VOLUMEN MEDIO ANUAL MILLONES DE M <sup>3</sup>
1	Río Blanco	3, 130	1, 603
2	Río Tonto	5, 360	11, 802
3	Río Santo Domingo	15,719	5, 974
4	Río Valle Nacional	1,280	4, 305
5	Río Obispo	1,766	1, 542
6	Río Tesechoacán	6,354	6, 861
7	Río San Juan	9,448	9,750
8	Llanuras Papaloapan	3,460	2,636
	<b>TOTAL</b>	<b>46,517</b>	<b>44,476</b>

Tabla 3. Superficie y volumen medio anual de las subcuencas del Río Papaloapan.



Figura 11. Representación de las subcuencas, corrientes controladas y no controladas del Río Papaloapan, así como de las estaciones hidrométricas utilizadas en el presente trabajo.

Para la elaboración del presente trabajo se han seleccionado 5 estaciones hidrométricas, que corresponden a corrientes principales de la cuenca, las cuales se encuentran más cercanas a la llanura de inundación del curso bajo del Río Papaloapan. Cuatro de ellas no se encuentran controladas por ninguna presa y corresponden a los Ríos Tesechoacan (estación Azueta), San Juan Evangelista (estación Cuatotolapan), Lauchapan (estación Lauchapan) y por último el Río Blanco (estación Cuichapa). Las tres primeras son afluentes de la margen derecha al Río Papaloapan y la cuarta corresponde a la porción izquierda de la llanura de inundación, la cual no se encuentra comunicada con el Río Papaloapan, ya que desemboca directamente en la Laguna de Alvarado. La última estación es Papaloapan y corresponde al Río Papaloapan, dicha estación se encuentra controlada por las presas de Temascal y Cerro de Oro (Figura 11).

#### IV.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDROMETEOROS CUANDO SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES (1944-1996)

La recopilación de información sobre la frecuencia de inundaciones a partir de diversas fuentes ya mencionadas, permitió registrar 67 eventos en los que ocurrieron inundaciones de 1944 a 1996. En función de estos registros se recabó la información sobre los huracanes, precipitaciones, gastos hidrométricos y mareas.

La recopilación de la información es complicada, ya que son diferentes fuentes de información que describen los factores y muchas veces la información no está completa para el periodo de estudio del presente trabajo. Por otro lado, los datos de los gastos hidrométricos y las tendencias de la precipitación están formados por cuatro corrientes y diez estaciones climatológicas respectivamente, en donde se presenta el mismo problema. A continuación se muestran los periodos de información recopilados para cada uno de los elementos (ver tabla 4).

<b>INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA</b>	<b>PERIODO</b>
Cuichapa, Río Blanco	1953-1981
Papaloapan, Río Papaloapan	1953-1994
Azueta, Río Tesechoacan	1947-1996
Cuatotolapan, Río San Juan	1953-1996
Lauchapan, Río Lauchapan	1953-1996
<b>HURACANES</b>	
Golfo de México	1944-1996
Pacífico oriental	1949-1996
<b>PRECIPITACIÓN</b>	
Mapas de isoyetas	1944-1970
<b>PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL</b>	
<b>Subcuenca del Río Tesechoacan</b>	
Estación # 30103 Mata de limones, Ver.	1961-1984
Estación # 30131 Playa Vicente, Ver.	1961-1990
Estación # 20099 San Miguel Sola de Vega, Oax.	1962-1990
Estación # 20023 San Miguel Cuajimoloyas, Oax.	1955-1984

Subcuenca del Río San Juan	
Estación # 20279 Soyalapa, Oax.	1976-1990
Estación # 30204 Catemaco 1, Ver.	1961-1990
Estación # 30146 San Andrés Tuxtla, Ver.	1961-1989
Estación # 30022 Catemaco 2, Ver.	1961-1990
Estación # 30033 Coyame, Ver.	1961-1982
Estación # 30011 Angel R. Cabadas, Ver.	1961-1984

Tabla 4. Información recopilada para los diferentes elementos hidrometereológicos

La limitación en la cobertura de la información impide realizar un análisis completo de todos los factores hidrometereológicos para el periodo de 1944- 1996

#### IV.2.1 Gastos hidrométricos

##### IV.2.1.1 Tendencia de los gastos hidrométricos

El primer análisis lo haremos con los gastos hidrométricos, analizando los gastos máximos anuales observando la tendencia que presentan a través del tiempo.

Los gastos máximos anuales de la estación hidrométrica Papaloapan, mostraron una tendencia al decremento, lo cual es lógico, si se sabe que esta corriente está controlada por las presas de Temascal. La primera en operación desde el año de 1950, regula el caudal del Río Santo Domingo y desde 1989 para el curso del Río Tonto se encuentra la presa Cerro de Oro. Estos embalses sirven como reguladores que disminuyen la magnitud de la inundación en la confluencia de las corrientes que desembocan río abajo del Papaloapan. En la gráfica siguiente los máximos picos de crecida, se presenta en los años de 1954, 1956, 1958, 1969, 1975, 1981, 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 12).

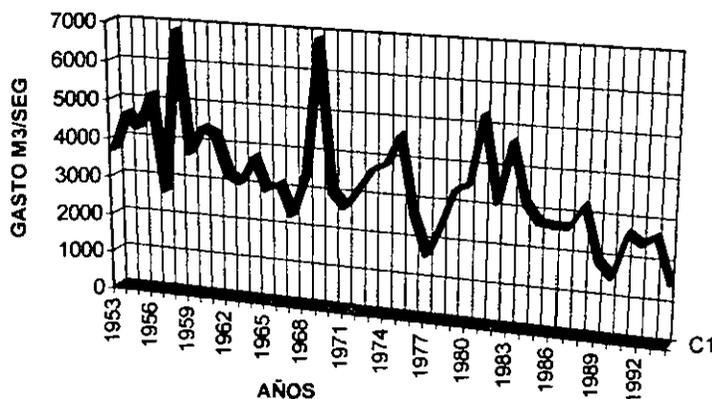


Figura 12 . Máximas hidrométricas anuales de la estación Papaloapan, Río Papaloapan.

La estación de Cuichapa se localiza sobre la corriente del Río Blanco, en la porción izquierda de la llanura del bajo Papaloapan (Figura 11). No muestra una tendencia clara; los picos de las mayores avenidas corresponden a los años de 1961, 1969, 1974 y 1981 por arriba de los 500 m<sup>3</sup>/s. Cabe aclarar que la avenida del 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 13).

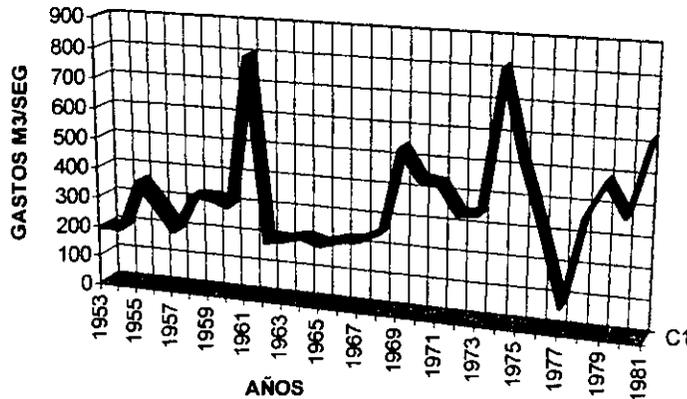


Figura 13. Máximas hidrométricas anuales de la estación Cuichapa, Río Blanco.

Los datos máximos hidrométricos de la estación Villa Azueta ubicada en el Río Tesechoacan, (margen derecha del Río Papaloapan) se muestran en la Figura 14, donde se observa un incremento muy importante en los gastos de las cursos fluviales, teniendo picos de crecidas, para los años de 1952, 1954, 1956, 1958, 1960, 1969, 1974, 1980, 1987, 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 entre 1,500 a 2,100 m<sup>3</sup>/s., siendo más altos que hasta el mismo gasto de 1969 que fue de 1,404 m<sup>3</sup> /s.

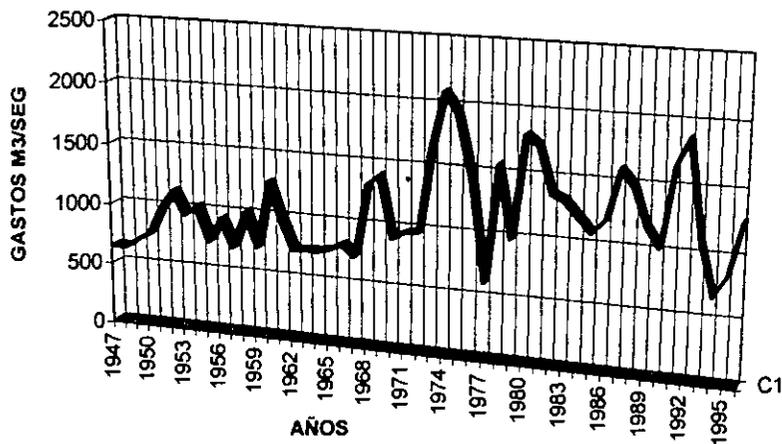


Figura 14. Máximas hidrométricas anuales de la estación Villa Azueta, Río Tesechoacan.

La estación Cuatotolapan que registra los gastos del Río San Juan Evangelista, que también corresponde a la margen derecha del Río Papaloapan (Figura 11), presenta un comportamiento muy similar al del Río Tesechoacan, mostrando un importante incremento de los gastos máximos del río. Los registros que fluctuaban entre los 500 y 1, 200 m<sup>3</sup>/s antes de 1969, son de entre 500 a 2,300 m<sup>3</sup>/s posteriormente a esta fecha. La diferencia entre el Río Tesechoacan y el Río San Juan, es que el dato máximo hidrométrico de éste último si corresponde al año de 1969, donde presentó la excepcional avenida de 4,165 m<sup>3</sup>/s. Los máximos picos de crecida aparecen en los años 1969, 1973, 1974, 1975, 1978, 1980, 1983, 1989, 1992 y 1996 (Figura 15).

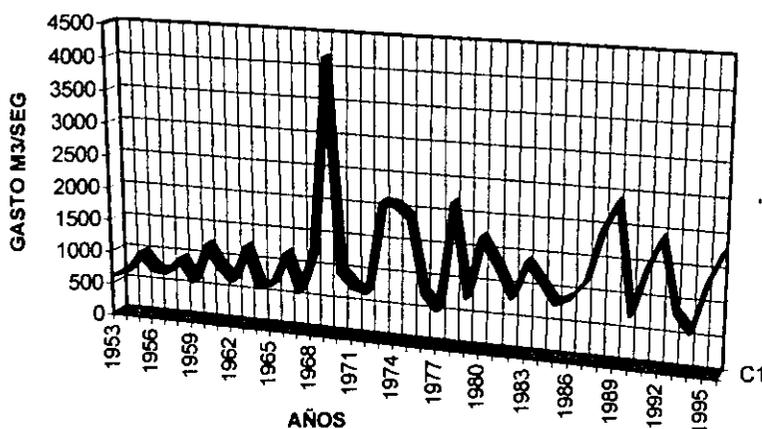


Figura 15. Máximas hidrométricas anuales de la estación Cuatotolapan, Río San Juan Evangelista.

Los datos de la estación Lauchapan que registra los gastos del río del mismo nombre, y forma parte de la margen derecha del Río Papaloapan (Figura 11), son diferentes al de las dos corrientes anteriores, pues presentan un ligero decremento en la tendencia, muestran numerosos picos máximos de crecida, entre ellos destacan 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 16).

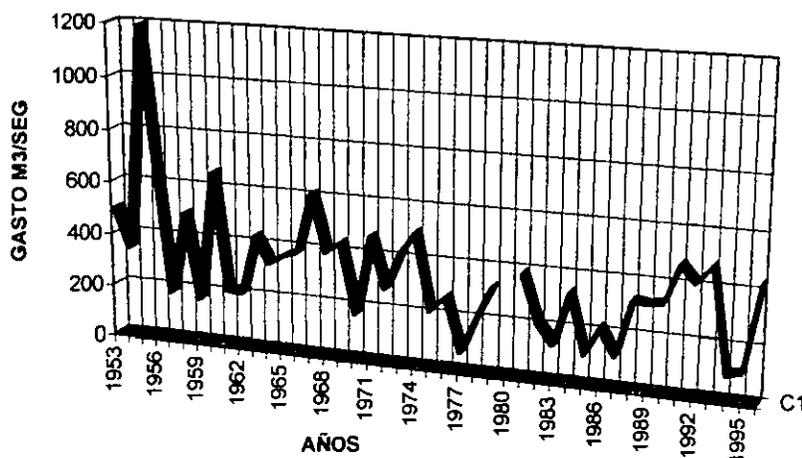


Figura 16. Máximas hidrométricas anuales de la estación Lauchapan, Río Lauchapan.

La descripción de las tendencias de los gastos máximos anuales de las corrientes fluviales es fundamental para analizar el comportamiento de las subcuencas a través del tiempo, distinguiendo cuáles tienen una tendencia al incremento de los gastos máximos anuales, y por consecuencia una mayor posibilidad para el desarrollo de las inundaciones. Y al mismo tiempo establece la pregunta del por qué del aumento en los caudales máximos anuales en determinados ríos.

La respuesta sobre el aumento de los gastos máximos para algunas subcuencas, se investigará tomando en cuenta otros factores como son la precipitación y las modificaciones de la cobertura vegetal.

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 (Tesechoacan y San Juan Evangelista), observándose esta tendencia a partir de 1969. En contraste la corriente principal del Río Papaloapan muestra un decremento a partir de 1983. Esta misma tendencia aparece para la corriente del Río Lauchapan teniendo el decremento a partir de 1974. Y por último la representación de los gastos máximos para el Río Blanco no muestran una tendencia clara.

La tendencia del incremento en los gastos hidrométricos en las subcuencas de los Ríos Tesechoacan y San Juan Evangelista, muestra un posible cambio en la cantidad de la precipitación o por modificaciones en el tipo de cubierta vegetal.

#### IV.2.1.2 Clasificación jerárquica de los gastos hidrométricos

El segundo punto busca describir y analizar qué gastos hidrométricos se presentaron cuando ocurrieron inundaciones. Si bien es cierto que éstas coinciden cuando se presentan los máximos gastos en varias corrientes, también ocurre que al presentarse los gastos máximos aislados sólo en algunas subcuencas, no se produce inundación. Sin embargo, ocurre que la conjugación de gastos medios y altos (sin ser los máximos anuales) de varias corrientes, producen inundaciones de magnitud importante.

Este análisis agrupa eventos similares en función de los gastos hidrométricos presentados; se utilizan datos de 4 estaciones hidrométricas: Papaloapan, Azueta, Cuatotolapan y Lauchapan.

El registro de las 67 inundaciones mostrada en la tabla 18, es resumido a 33 eventos tomando en cuenta las inundaciones más importantes y en donde los datos se encuentren completos para las cuatro corrientes.

Los eventos hidrométricos se agruparon a través de una clasificación jerárquica que tomó en cuenta los gastos hidrométricos registrados en cuatro ríos. Todo ello con la finalidad de conjuntar eventos que presentan gastos similares para los cuatro cursos fluviales. La clasificación permitió definir cuatro grupos principales (Figura 17).

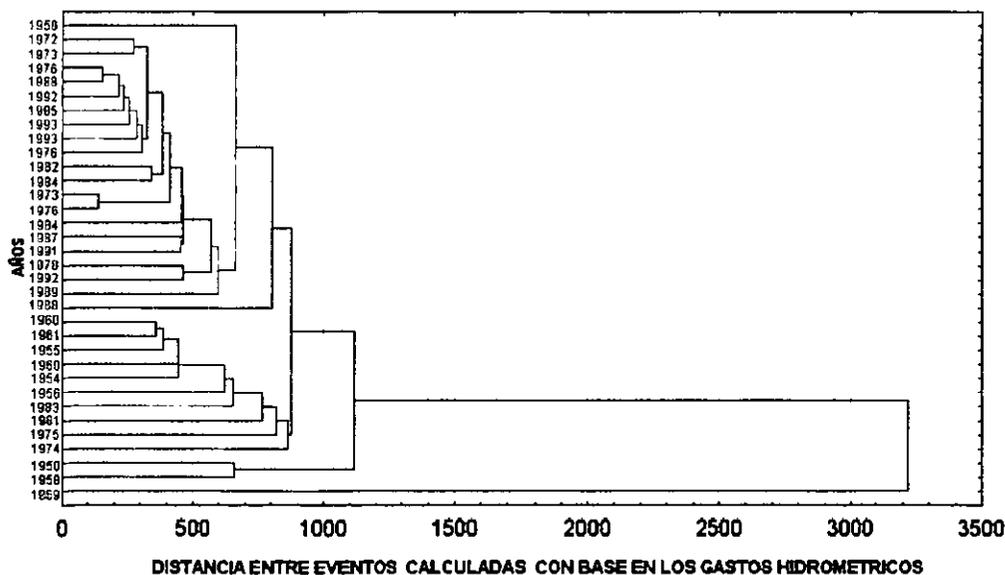


Figura 17. Clasificación jerárquica de 33 inundaciones mostrando en el eje de las ordenadas los años de los eventos representados en cuatro colores en función del grupo al que pertenecen.

La clasificación jerárquica de los eventos en función de gastos similares pretende determinar inundaciones que tuvieron un desarrollo semejante, es decir que existe poca diferencia entre los gastos de cada una de las corrientes para distintos eventos. Esta agrupación permite ver cuáles son los eventos más frecuentes. Por otro lado conociendo las afectaciones de la superficie inundada que producen los eventos, se pueden pronosticar los daños que tendrían las inundaciones futuras bajo circunstancias hidrometeorológicas similares a las antes ocurridas.

La agrupación de los gastos hidrométricos se llevó a cabo con la información de 33 eventos, pero no incluye algunos gastos que representaron inundaciones importantes, ya sea porque los datos no fueron tomados como es el caso del año de 1944 (se tienen sólo estimaciones), o porque los datos de alguna de las cuatro corrientes están incompletos como lo son los años de 1952 , 1955, 1958, 1980 y 1988.

Los primeros grupos están constituidos sólo por uno o dos eventos ya que la aparición de dichos gastos no es común porque constituyen avenidas extraordinarias de los cursos fluviales, pero los dos últimos grupos se encuentran representados por un número mayor de eventos, ya que la ocurrencia de gastos hidrométricos altos es más frecuente que la aparición de gastos altos excepcionales.

En el presente análisis se llamará a las estaciones hidrométricas por el nombre de las corrientes que los forman, aclarando que para cada una de las corrientes la estación que le corresponde es la siguiente; Río Papaloapan estación Papaloapan, Río Tesechoacan estación Villa Azueta, Río San Juan Evangelista estación Cuatotolapan y Río Lauchapan estación Lauchapan.

#### Grupo 1:

Este grupo está representado sólo por el evento de 1969, donde ocurrieron gastos muy altos que han sido excepcionales, se observa que para el año de 1969 casi todas las corrientes presentaron muy altos gastos hidrométricos de 6,850 m<sup>3</sup>/s, 1,404 m<sup>3</sup>/s., 4,165 m<sup>3</sup>/s. y 436 m<sup>3</sup>/s. para los ríos Papaloapan, Tesechoacan, San Juan y Lauchapan respectivamente.

#### Grupo2:

Son dos los eventos que constituyen este grupo los cuales presentaron gastos similares para los años de 1958 y 1950, en este grupo se presentan gastos excepcionales sólo para la corriente principal del Papaloapan, donde mantiene niveles de 6,825 m<sup>3</sup>/s. para 1968 y de 6,228 m<sup>3</sup>/s. para 1950 muy parecidos a la gran inundación del 69, pero los ríos tributarios de la margen derecha disminuyen considerablemente para 1958 con 975 m<sup>3</sup>/s, 550 m<sup>3</sup>/s. y 217 m<sup>3</sup>/s. para los ríos Tesechoacan, San Juan y Lauchapan respectivamente. Y en 1950 756 m<sup>3</sup>/s. , 641 m<sup>3</sup>/s. y 371 m<sup>3</sup>/s. para las mismas corrientes antes mencionadas.

#### Grupo 3:

El bloque de eventos del grupo tres es más amplio constituido por 10 eventos, la diversidad de combinaciones entre los cursos fluviales también es mayor. En este grupo observamos que el gasto mínimo de la corriente principal tienen un valor de 3,846 m<sup>3</sup>/s.

presentado en 1974 y el valor máximo es de 5,275 m<sup>3</sup>/s. para el año de 1981. Sin embargo el comportamiento de las corrientes tributarias de la margen derecha en particular las de los Río Tesechoacan y San Juan presenta gastos que sobrepasan de forma considerable los obtenidos por estas mismas en las inundaciones de los años de 1950, 1958 y hasta el mismo 1969.

De forma general los valores mínimos para el caso del Río Tesechoacan rebasan los 1000 m<sup>3</sup>/s (a excepción de los años 56, 60 y 61), mientras que el dato máximo alcanza más de 2000 m<sup>3</sup>/s. Esta misma tendencia se presenta en el Río San Juan, pero ha diferencia del Río Tesechoacan el dato máximo de 2,076 m<sup>3</sup>/s. no rebasa el registrado en 1969 para esta misma estación.

#### Grupo 4:

Este grupo es el más grande de todos con 20 eventos, en los cuales se registraron inundaciones, pero son de menores dimensiones que los tres grupos anteriores, en donde no se tienen registros del área afectada. Los gastos mínimos de la corriente principal del Papaloapan van desde 1,945 m<sup>3</sup>/s hasta el máximo de 3, 269 m<sup>3</sup>/s. El comportamiento de las corrientes es muy similar al grupo anterior con respecto a que las corrientes tributarias de la margen derecha presentan también altos gastos, pero a diferencia del grupo anterior el nivel de la corriente principal todavía es más bajo.

A continuación se muestran los gastos hidrométricos de las cuatro corrientes fluviales para los 33 eventos, agrupados en los cuatro grupos jerárquicos.

Es importante mencionar las siguientes conjugaciones de las corrientes para que se desarrollen procesos de inundación en la llanura baja del Río Papaloapan. La primera y más lógica es cuando todas ellas, tanto la principal como las corrientes tributarias mantienen niveles muy altos y /o niveles excepcionales en los gastos hidrométricos como lo fueron en 1969 y 1944 donde según estimaciones alcanzó para esta última fecha la corriente del Río Papaloapan hasta 10, 000 m<sup>3</sup>/s. en la estación del mismo nombre y en donde se inundaron 470, 000 ha para 1944 y 340, 000 ha para 1969.

La siguiente combinación es cuando la corriente principal mantiene gastos hidrométricos excepcionales muy parecidos al caso anterior, pero a diferencia de éstas, los tributarios mantienen gastos más bajos. Estos son los casos de 1950 y 1958 donde para este último se reportan 195,000 ha dañadas por la inundación.

En la tercera combinación se observa una importante disminución en el caudal de la corriente principal, pero un aumento del doble del caudal de las corrientes tributarias de la margen derecha. Entre los casos se encuentran los eventos de las inundaciones de los años de 1975 y 1981 donde según reportes de la CNA tuvieron un área de afectación de 162,000 y 210,000 ha dañadas respectivamente. Esto significa que cuando las corrientes tributarias de la margen derecha presentan gastos excepcionales pueden inundar una superficie muy grande, como cuando la corriente del Río Papaloapan contiene gastos excepcionales y los tributarios mantienen gastos bajos.

Por otro lado es importante mencionar que cuando el Río Papaloapan conduce un gran caudal, la carga de agua lleva tal potencia que esta corriente da salida primero a sus aguas e impide que los ríos tributarios de la llanura baja y margen derecha puedan descargar su corriente en ella, aún cuando ellos contengan también gran caudal. Estos

últimos se ven bloqueados hidráulicamente por la corriente principal, creando para los tributarios problemas de inundación más serios.

Tabla 5. Información de gastos hidrométricos cuando se han presentaron inundaciones.

Pert. Atmos	Papaloapan		Azueta		Cuatotolapan		Lauchapan	
	m³/s		m³/s		M³/s		m³/s	
2 Huracanes	12-Sep-69	6,850	12-Sep-69	1,404	13-Sep-69	4,165	11-Sep-69	436
3 Huracanes	15-Oct-58	6,825	17-Oct-58	975	10-Oct-58	550	14-Oct-58	217
Huracán I	13-Oct-50	6,228	13-Oct-50	756	14-Oct-50	641	17-Oct-50	371
Depres. Trop.	22-Sep-74	3,846	22-Sep-74	2,093	24-Sep-74	2,076	21-Sep-74	501
	16-Sep-75	4,630	16-Sep-75	1,950	18-Sep-75	1,907	21-Sep-75	213
Baja presión	28-Ago-81	5,275	28-Ago-81	1,738	30-Ago-81	1,183	27-Ago-81	167
	25-Jul-83	4,673	25-Jul-83	1,321	27-Jul-83	1,401	30-Jul-83	86.11
2 Huracanes	10-Jul-56	5,166	11-Jul-56	715	17-Jul-56	728	13-Jul-56	50.5
Huracán	03-Jul-54	4,628	05-Jul-54	1,017	10-Jul-54	678	07-Jul-54	130
4 Huracanes	01-Sep-60	4,390	01-Sep-60	1,270	04-Sep-60	1,190	02-Sep-60	656
Tormen. Trop.	08-Sep-55	4,265	13-Sep-55	1,110	13-Sep-55	990	14-Sep-55	313
2 Huracanes	27-Jul-61	4,249	28-Jul-61	838	04-Ago-61	828	31-Jul-61	84.6
Huracán	23-Jul-60	3,945	19-Jul-60	772	25-Jul-60	657	23-Jul-60	138
	15-Ago-88	3,269	15-Ago-88	1,483	17-Ago-88	1,943	14-Ago-88	282
	20-Sep-89	1,945	22-Sep-89	1,182	22-Sep-89	2,398	22-Sep-89	320
	18-Ago-92	1,957	17-Ago-92	982	21-Ago-92	982	23-Ago-92	126
	22-Sep-78	2,338	24-Sep-78	1,560	25-Sep-78	2,184	22-Sep-78	205
	09-Oct-91	2,680	10-Oct-91	1,657	11-Oct-91	1,460	10-Oct-91	475
	02-Ago-87	2,585	03-Ago-87	1,602	04-Ago-87	1,196	03-Ago-87	121
Tormen. Trop	17-Sep-84	2,880	15-Sep-84	1,049	15-Sep-84	1,123	16-Sep-84	333
	05-Sep-76	2,479	06-Sep-76	1,459	08-Sep-76	795	09-Sep-76	272
	01-Sep-73	2,398	02-Sep-73	1,531	01-Sep-73	727	01-Sep-73	332
	14-Jun-84	3,119	15-Jun-84	1,202	15-Jun-84	560	14-Jun-84	283
	24-Sep-82	3,141	25-Sep-82	1,367	27-Sep-82	852	24-Sep-82	210
Depres. Trop	30-Jun-76	2,520	30-Jun-76	1,099	30-Jun-76	566	30-Jun-76	50.3
Huracán	06-Jul-93	2,523	01-Jul-93	881	08-Jul-93	712.9	05-Jul-93	208
	15-Ago-93	2,572	17-Ago-93	1,098	20-Ago-93	869	24-Ago-93	110
	27-Ago-85	2,321	29-Ago-85	1,087	31-Ago-85	816	31-Ago-85	68
	13-Sep-92	2,445	13-Sep-92	1,871	15-Sep-92	1,931	19-Sep-92	412
	23-Jul-88	2,112	23-Jul-88	957	24-Jul-88	839	20-Jul-88	74
	14-Sep-76	2,212	15-Sep-76	900	14-Sep-76	781	14-Sep-76	159
	23-Jun-73	2,769	23-Jun-73	747	23-Jun-73	607	23-Jun-73	72.5
	29-Jul-72	2,872	01-Ago-72	979	29-Jul-72	687	29-Jul-72	139

## IV.2.2 Precipitaciones

El segundo análisis se hace con base en los registros de precipitación de la cuenca del Río Papaloapan. Se cuenta con los mapas de isoyetas que representan la cantidad de lluvia ocurrida cuando se produjeron las inundaciones para el periodo de 1944-1969. Esta información elaborada por la Comisión del Papaloapan es muy útil porque en ella se observa la distribución espacial de la lluvia cuando se presentaron inundaciones.

La información de 1970 hasta nuestros días, tiene inconvenientes ya que según la información de ERIC (Extracto Rápido de Información Climatológica, IMTA, 1996), contiene datos del periodo de 1940-1990, donde para la cuenca del Río Papaloapan reporta 259 estaciones meteorológicas en donde supuestamente se registraron datos de precipitación, pero en realidad dicha información sólo existe para 83 estaciones. En muchas de éstas estaciones no se registraron los datos de precipitación en los días en los que ocurrieron inundaciones, siendo por tal razón difícil generar mapas de isoyetas que contengan resultados confiables sobre las inundaciones más recientes.

Por las razones anteriores en el presente trabajo se utilizaron los mapas de la Comisión del Papaloapan para relacionar la distribución y cantidad de precipitación con la conjugación de los diferentes niveles de los gastos hidrométricos que han originado las inundaciones. Aunque este análisis se vea limitado en el tiempo, ya que sólo maneja el periodo de 1944-1970, quedando sin observación los eventos recientes.

Por otro lado para comprobar si la tendencia en el incremento de los gastos hidrométricos en las subcuencas de los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, es causado por un aumento en las precipitaciones, se realizan las gráficas de los datos de la lluvia total anual en varias estaciones pertenecientes a éstas dos subcuencas para observar las tendencias.

El manejo de los datos de precipitación para las tendencias de la lluvia en las dos subcuencas en donde se registró incremento del gasto hidrométrico a través del tiempo, se analiza con base en la información de la precipitación de 10 estaciones; 4 para subcuenca del Río Tesechoacán y 6 para el Río San Juan Evangelista (ver tabla 4).

El análisis de la cantidad y distribución de la precipitación cuando ocurrieron inundaciones se inicia desde el evento de septiembre de 1944, el cual por no tener datos precisos de los gastos hidrométricos, quedó fuera de la clasificación estadística jerárquica, pero debido a la importancia que representó se mostrarán los datos de los demás factores en los que sí se tenga la información.

### **SIN GRUPO**

La información más antigua sobre la distribución de la precipitación cuando han ocurrido inundaciones, es el mapa de isoyeta del 21 al 23 septiembre de 1944 (Figura 18). En este mapa se observa una precipitación alta en todo el curso alto de todos los afluentes de la margen derecha, así como las corrientes de la margen izquierda que desembocan en la Laguna de Alvarado. Esta franja de altas precipitaciones ocupó grandes extensiones de la cuenca con valores por arriba de los 300 mm/72 hrs, alcanzando para la cuenca alta de los ríos Papaloapan, Tesechoacán y San Juan Evangelista valores de 500 mm/72 hrs. Es por ello que las precipitaciones ocurridas generaron los mayores gastos hidrométricos de todo el siglo.

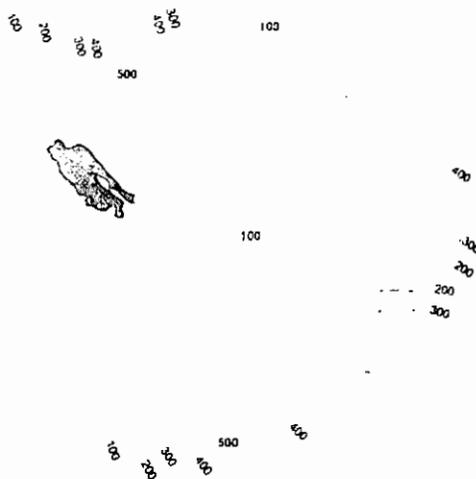


Figura 18. Mapa de Isoyetas en mm del 21-23 de septiembre de 1944

#### GRUPO 1

Las precipitaciones del 9 al 10 de septiembre de 1969 (Figura 19), presentaron 4 centros con valores altos. El primero se localiza al este de la presa de Temascal con precipitaciones que superan los 250 mm/48 hrs y el segundo en la zona entre los Ríos Santo Domingo, Usilá y Valle Nacional, siendo éste el de mayores dimensiones alcanzando valores de 450 mm /48 hrs. El tercer centro se ubica en la cuenca alta del Río San Juan con valores entre los 100 y 150 mm/ 48hrs y el cuarto mayor a 450 mm/ 48 hrs en la zona de los Tuxtlas. Estos 4 centros así como una franja con precipitaciones mayor a 100 mm/48 hrs. que abarca casi todo el curso alto de la cuenca, propició gastos hidrométricos muy altos en cuatro de las 5 corrientes analizadas anteriormente, siendo el Río Tesechoacán el de menor magnitud.

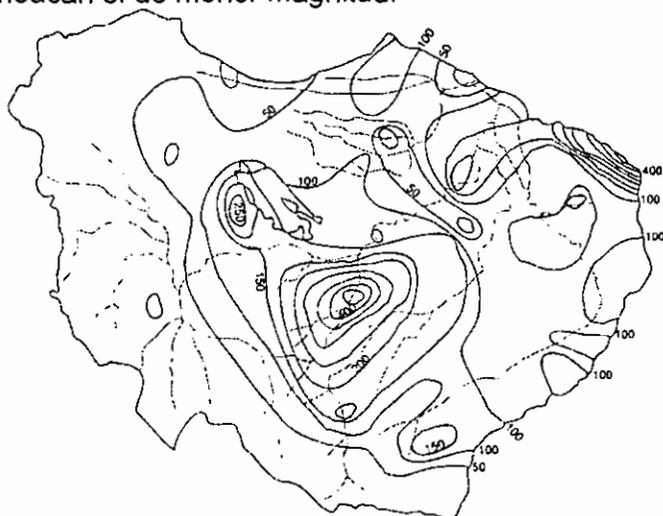


Figura 19. Mapa isoyetas en mm 9 y 10 de septiembre de 1969

La inundación de septiembre de 1969 es la segunda en importancia por la magnitud de área inundada, ya que la CNA registra una superficie de 340, 000 ha afectadas.

## GRUPO 2

La inundación de 1958 la generaron las lluvias ocurridas en los días 14 y 15 de octubre (Figura 20), con centros de mayor precipitación distribuidos como de costumbre en la zona entre los ríos Santo Domingo y Valle Nacional, pero en esta ocasión la concentración superó hasta la ocurrida en 1944, mostrando valores mayores a los 550 mm/48 hrs, lo que generó un nivel de gasto hidrométrico con 6,825 m<sup>3</sup>/s. , uno de los más altos en la historia del curso del Río Papaloapan.

Sin embargo esta inundación cubrió según reporta la CNA 195,000 ha, superficie muy por debajo de la inundación de 1944 que abarcó 470, 000 ha, y esto fue debido a que los valores tan altos de precipitación alcanzados se concentraron sólo en el área entre los ríos Santo Domingo y Valle Nacional, mostrando para los cursos de la margen derecha una precipitación menor a 100 mm/48 hrs para el caso del Río Tesechoacán y menor a 50 mm/48 hrs para el San Juan, teniendo así ambas corrientes un nivel bajo en el gasto hidrométrico.

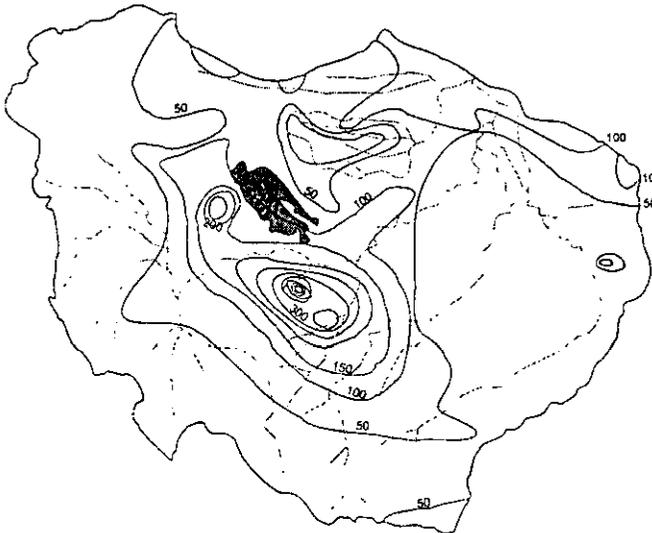


Figura 20. Mapa de isoyetas en mm del 14 al 15 de octubre de 1958

Los datos de lluvia para el evento del 10-12 octubre de 1950 (Figura 21), presenta una distribución similar a la de 1958 pero de dimensiones menores, ya que los valores más altos alcanzan valores de 500 mm pero en 72 hrs, ubicada también en el área entre los ríos Valle Nacional y Santo Domingo y mayores de 300 mm/72 hrs en una superficie más amplia que abarca la zona de la presa Temazcal así como también en los cursos de los zona de los ríos Blanco, Moreno, etc. Y los ríos de la margen derecha (Tesechoacán y San Juan) muestran valores de 100 mm/72 hrs, es por ello que estas corrientes presentan niveles bajos en los gastos hidrométricos en comparación del curso del Papaloapan que alcanzó un gasto hidrométrico de 6,228 m<sup>3</sup>/s

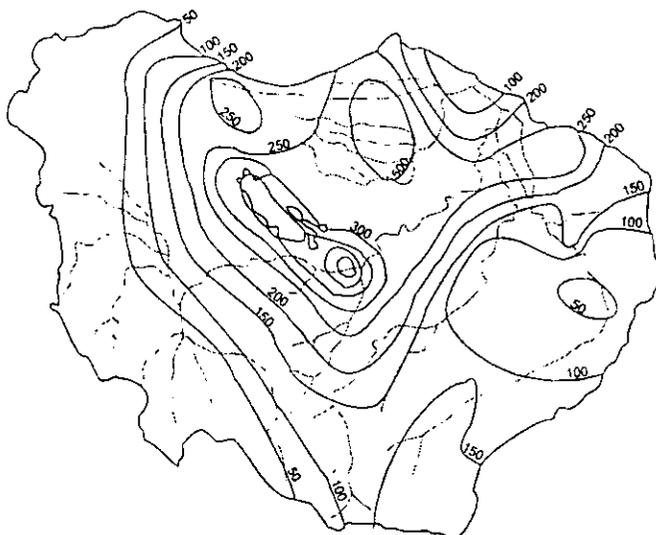


Figura 21. Mapa de isoyetas en mm del 10 al 12 octubre de 1950

### GRUPO 3

El grupo tres presenta características muy importantes en la distribución de la precipitación, de manera general los valores más altos se distribuyen también en la zona entre los ríos Santo Domingo y Valle Nacional, pero estas no superan los 550 mm/72 hrs o los 400 mm/48 hrs de precipitación, y estos valores en ocasiones aparecen desplazados hacia las corrientes de la margen derecha. Por otro lado aparecen centros con valores altos de precipitación sobre los cursos altos de las corrientes de la margen derecha del Papaloapan.

La inundación ocurrida en julio de 1956 (Figura 22), forma parte del grupo tres, donde se observa un centro con valores de precipitación de 400 mm/48 hrs en el área entre los ríos Valle Nacional y Santo Domingo, pero también se observa una zona con valores  $> 50$  mm/48 hrs que se extiende en el curso alto del Río Tesechoacán y con precipitaciones mayores a 100 mm y valores mayores a 150 mm/48 hrs en el curso más alto del Río San Juan Evangelista.



Figura 22. Mapa de isoyetas en mm del 9 y 10 de julio 1956

A fines de junio y principios de julio de 1954 es interesante ver la distribución de las precipitaciones (Figura 23), ya que las áreas con los valores más altos de 350 mm/72 hrs, no se presentaron sobre las corrientes de los tributarios de la margen izquierda a la altura de las presas (ríos Tonto y Santo Domingo); ni siquiera de forma significativa sobre el Río Papaloapan, sino que el centro de mayor precipitación se presentó a la derecha del Río Papaloapan a la altura de Jacaltepec, tocando la cuenca alta del Tesechoacán, y por tal razón el Río Papaloapan generó gastos hidrométricos de 4,628 m<sup>3</sup>/s., y el Tesechoacán 1,017 m<sup>3</sup>/s. El resto de la superficie de las corrientes de la margen derecha presentaron valores menores de 200 mm/ 72 hrs de precipitación, teniendo valores bajos en los gastos de los ríos San Juan y el Lauchapan. También hay que señalar que en el curso bajo del Papaloapan en la Laguna de Alvarado se presentaron valores de lluvia mayores de 350 mm/ 72 hrs.

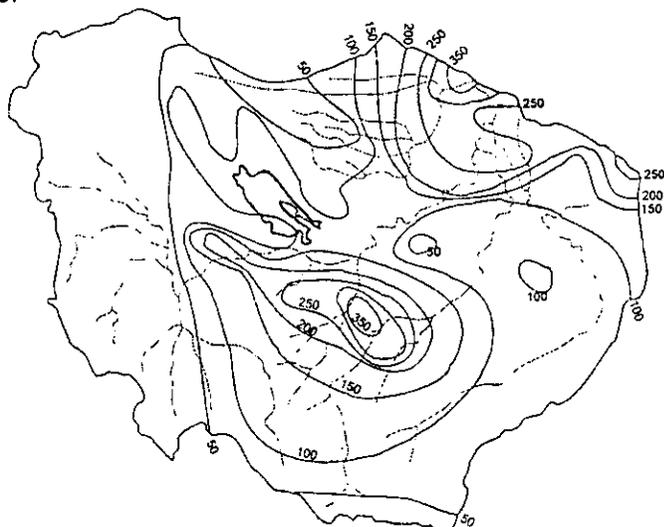
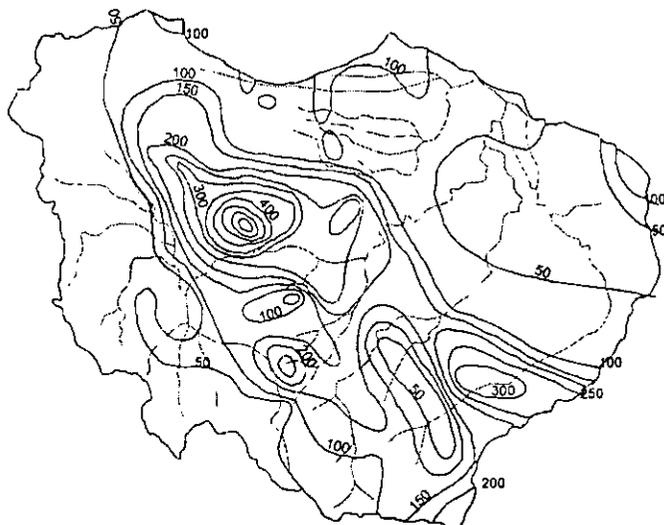


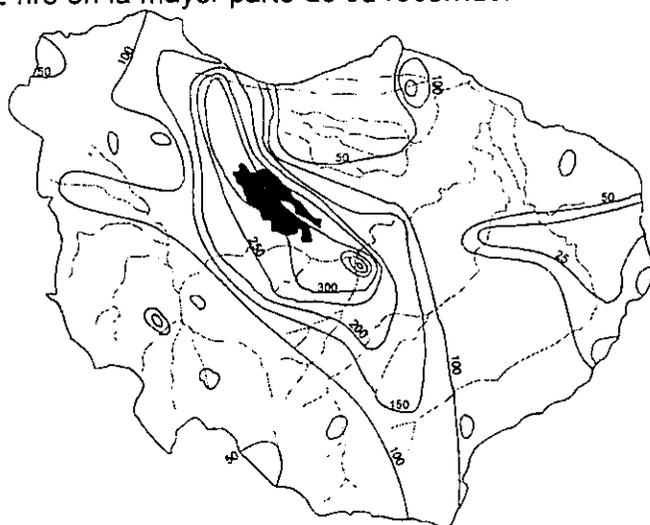
Figura 23. Mapa de isoyetas en mm de fines de junio y principio de julio de 1954

Las inundaciones de 1960 fueron generadas por precipitaciones ocurridas del 28 al 30 de agosto que presentaron dos centros con valores altos de precipitación (Figura 24), el primero en el área de la presa Temascal alcanzando hasta 550 mm/72 hrs, y el segundo en el curso alto del Río San Juan evangelista que presentó valores mayores de 300 mm/72 hrs. Entre estas dos zonas los valores alcanzaron hasta 150 mm/72 hrs sobre el curso medio del río Tesechoacán. La distribución de la precipitación generó que los Río San Juan y Tesechoacán alcanzaran gastos hidrométricos de 1,270 m<sup>3</sup>/s y 1,190 m<sup>3</sup>/s respectivamente, mientras el Río Papaloapan mostró un gasto de 4,390 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 24. Mapa de isoyetas en mm 28 al 30 agosto de 1960**

Las precipitaciones entre el 5 al 7 septiembre de 1955 (Figura 25), mostraron el comportamiento más o menos regular sobre la distribución, teniendo los valores más altos en el área cercana a las presas alcanzando hasta 450 mm/72 hrs, y en una porción del curso alto de la subcuenca del Río Tesechoacán mostró valores mayores de 150 mm/72 hrs, haciendo que el nivel del gasto hidrométrico de esté último fuera de 1, 110 m<sup>3</sup>/s. En contraste los ríos San Juan y Lauchapan presentaron valores de precipitación menores a 100 mm/ 72 hrs en la mayor parte de su recorrido.



**Figura 25. Mapa de isoyetas en mm del 5 al 7 de septiembre de 1955**

El mapa de isoyetas de la inundación de finales de julio de 1961 (Figura 26), muestra los valores más bajos de precipitación que presenta este grupo, teniendo en la zona el centro de máxima precipitación en el área de Valle Nacional con 400 mm/ 72 hrs, y mostrando todos los ríos de la margen derecha en su curso alto, valores que llegan sólo a 100 mm/ 72 hrs de precipitación, teniendo inundaciones con gastos hidrométricos en los Ríos

Papaloapan de 4, 249 m<sup>3</sup>/s, Tesechoacán 838 m<sup>3</sup>/s, San Juan Evangelista 828 m<sup>3</sup>/s y Lauchapan 84.6 m<sup>3</sup>/s.

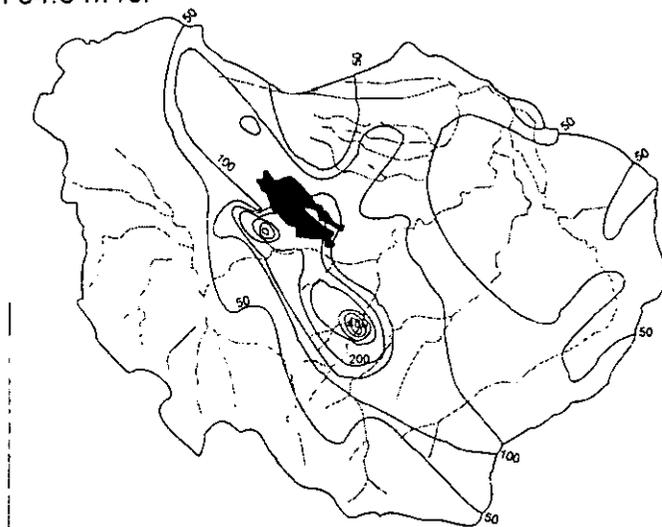


Figura 26. Mapa de isoyetas en mm del 26 al 28 de julio de 1961

#### GRUPO 4

Hay que mencionar que este grupo no cuenta con mapas de isoyetas, ya que ninguna inundación ocurrida dentro del periodo de 1944 a 1970 correspondió a dicho grupo, teniendo así que el grupo cuatro está conformado sólo por inundaciones que ocurrieron después de 1970.

Realizando algunas especulaciones basadas en los gastos que presenta el grupo cuatro, se puede observar que el gasto máximo que presenta el Río Papaloapan para este grupo es de 3,269 m<sup>3</sup>/s contra 4,249 m<sup>3</sup>/s presentado en julio de 1961, un evento que corresponde al tercer grupo, donde requirió para alcanzar dicho gasto de 400 mm/72 hrs de precipitación en la zona entre los ríos Valle Nacional y Santo Domingo, por tanto se puede decir que para el grupo cuatro el centro de precipitación ubicado en la zona antes mencionada, debiera presentar valores de precipitación por debajo de los 400 mm/72 hrs.

En contraste los gastos hidrométricos para el Río Tesechoacán en el grupo cuatro en general superan los 900 m<sup>3</sup>/s, entonces es probable que la precipitación para dichos gastos en el curso alto del Río Tesechoacán alcanzara más de 100 mm/48 hrs de lluvia, como ocurrió en octubre de 1958 en donde la subcuenca del Tesechoacán alcanzó valores de 100 mm/48 hrs de precipitación y presentó un gasto de 975 m<sup>3</sup>/s.

Por su parte el Río San Juan Evangelista para el grupo cuatro también presenta gastos hidrométricos medios a altos que van desde 550 m<sup>3</sup>/s hasta los 2,398 m<sup>3</sup>/s, teniendo siete eventos que rebasan los 1,000 m<sup>3</sup>/s de los 20 eventos que conforman dicho grupo. Debe mencionarse que a finales y principios de septiembre de 1960 la subcuenca del Río San Juan registró 1,190 m<sup>3</sup>/s, consecuencia de más 300 mm/72hrs de precipitación en el curso alto del San Juan.

Por ello es posible que para los gastos mayores a 1,000 m<sup>3</sup>/s de la subcuenca del Río San Juan requiera precipitaciones mayores a 300 mm /72 hrs. Aunque es importante hacer énfasis que las inundaciones corresponden a años recientes, en donde se observa

que los gastos de las corrientes de la margen derecha, en particular los Ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista presentan frecuentemente gastos muy altos, circunstancia que no aparecía en el pasado.

La distribución y la cantidad de la precipitación es fundamental para el desarrollo de los procesos de inundación, por ello en función de los mapas de isoyetas anteriormente descritos, se realizan las siguientes observaciones con respecto a la precipitación.

La presencia de inundaciones de gran magnitud, las cuales corresponden al primer grupo, son consecuencia de una distribución de la precipitación en toda la franja de la cuenca alta con valores arriba de los 300 mm/72 hrs y que alcanzan hasta 400 mm/72 hrs. Otro tipo de inundación de gran magnitud se presenta cuando centros con altos valores superan los 150 mm/48 hrs y alcanzan hasta 450 mm/48 hrs de precipitación, distribuyéndose en los cursos altos de las corrientes principales.

El segundo grupo presenta grandes concentraciones de lluvia entre los Río Santo Domingo y Valle Nacional que van desde 500 mm/72 hrs hasta 550 mm/48 hrs de precipitación, mientras las subcuencas de la margen derecha al Río Papaloapan presentan valores de precipitación menores a 100 mm/48 hrs y arriba de 100 mm/72 hrs.

El tercer grupo al contrario del anterior presenta en las subcuencas de la margen derecha valores de precipitación por arriba de los 150 mm/48 y 72 hrs alcanzando para algunos eventos hasta 300 mm/72 hrs, mientras las corrientes de la margen izquierda entre el Santo Domingo y Valle Nacional mantienen valores entre 350 mm/72 hrs y 550 mm/72 hrs hasta 400 mm/48 hrs de precipitación, este último rango es más bajo de lo que presentaba esta zona en los dos primeros grupos.

En función de las observaciones realizadas para el grupo cuatro en párrafos anteriores, se puede decir que las características del grupo tres aparecen también en este grupo, pero acentuadas en donde tenemos que la concentración de la precipitación de las subcuencas de la margen izquierda será menor de 400 mm/72 hrs, mientras que las subcuencas de la margen derecha concentran valores mayores de 150 mm/ 48 y de hasta 300 mm/72 hrs de precipitación.

#### IV.2.21 Tendencia de la precipitación

Otro análisis es el que se lleva a cabo con base en los registros de precipitación total anual de las subcuencas de los Río Tesechoacán y San Juan Evangelista. Dichos registros pertenecen a 10 estaciones climatológicas que aparecen ubicadas en la siguiente imagen (Figura 27). Existen cuatro estaciones con datos de precipitación para la subcuenca del Río Tesechoacán: corresponden dos de ellas, Mata Limones y Playa Vicente (30103 y 30131), al curso bajo del río, mientras las estaciones San Miguel Cuajimoloyas y San Miguel Sola de Vega (20023 y 20099) se ubican en la porción alta de la subcuenca ( Figura 27).

La subcuenca del Río San Juan Evangelista es analizado con base en los datos de precipitación de cinco estaciones climatológicas, dos Soyolapa y Coyame (20279 y 30204) se localizan en la porción alta de la subcuenca y tres San Andrés Tuxtla, Catemaco y Angel R. Cabadas (30146, 30204, 30033 y 30011) se encuentran en el área baja de la misma (Figura 27).

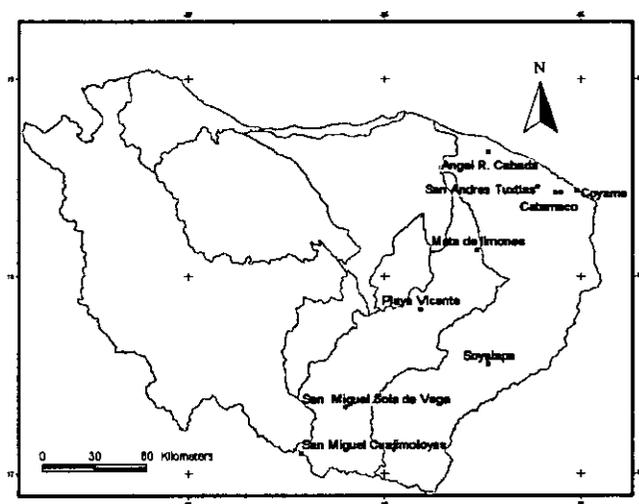


Figura 27. Ubicación de las estaciones climáticas y de las subcuencas con datos de precipitación total anual

Con base en la información de precipitación total anual de las estaciones se generó una gráfica para cada una de las subcuencas.

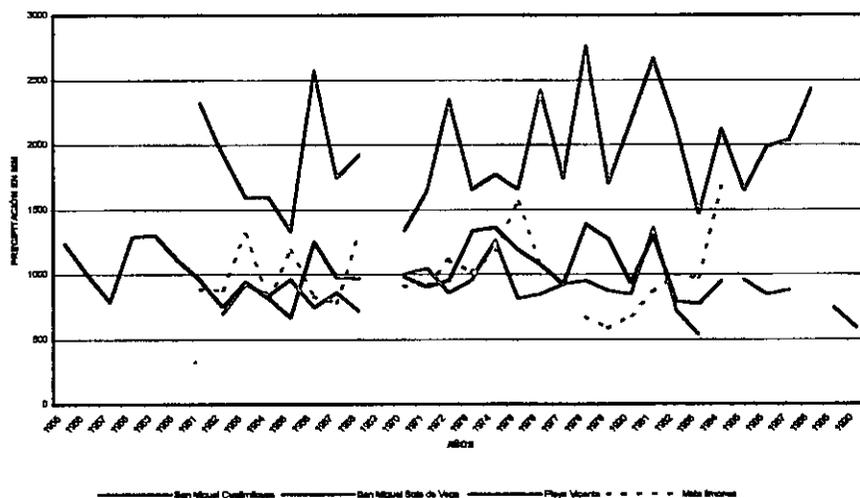
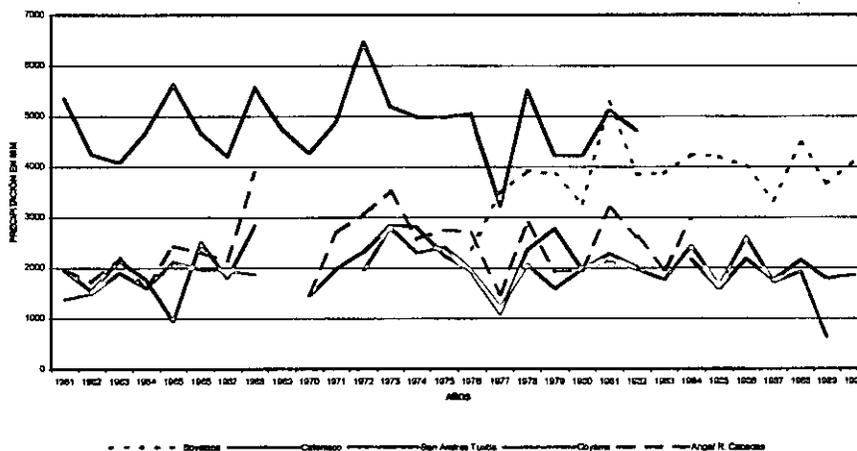


Figura 28. Precipitación total anual de cuatro estaciones climáticas de la subcuenca del Río Tesechoacán (1955-1970)



**Figura 29. Precipitación total anual de seis estaciones climatológicas de la subcuenca del Río San Juan Evangelista (1961-1990).**

En las subcuencas de los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, representadas por las 10 estaciones climatológicas, no se observa una tendencia de incremento o decremento de precipitación total anual a través de los diferentes periodos de información para cada una de las estaciones; por ello el incremento que muestran estas subcuencas en los gastos máximos anuales no es consecuencia de un aumento de la cantidad de lluvia, debe obedecer a otros factores que han alterado los niveles máximos acostumbrados.

### VI.2.3 Perturbaciones atmosféricas

El tercer análisis se lleva a cabo tomando en cuenta las perturbaciones atmosféricas como son huracanes, tormentas y depresiones tropicales, las cuales generaron procesos de inundación en la cuenca del Río Papaloapan.

Este análisis considera el origen, trayectoria y características de los huracanes, tormentas y depresiones tropicales. La información fue tomada de la dirección de internet [w.w.weather.unisys.com](http://w.w.weather.unisys.com), que produce la Universidad de Purdue, en Estados Unidos. Esta base de datos proporciona información para la zona del Golfo de México desde 1886 hasta 1998 y para el Pacífico de la porción oriental desde 1949 hasta 1998.

La información de la descripción de las perturbaciones atmosféricas queda resumida en la tabla 6.

Tipo	Categoría	Presión (mb)	Vientos km/h	Color de línea
Depresión	TD	—	< 63	Verde
Tormenta Tropical	TS	—	64-117	Amarillo
Huracán	1	> 980	118-153	Rojo
Huracán	2	965-980	154-177	Rojo claro
Huracán	3	945-965	178-209	Magenta
Huracán	4	920-945	210-249	Magenta claro
Huracán	5	< 920	>250	Negro

Tabla 6. **Categorías de las perturbaciones atmosféricas**

Las perturbaciones que generaron problemas de inundación fueron seleccionadas en función de la agrupación jerárquica de los gastos hidrométricos, en donde cada grupo está representado por lo menos por uno de los eventos de inundación, con las respectivas perturbaciones que le dieron origen.

La interpretación de las características y trayectoria de las perturbaciones atmosféricas, para establecer la magnitud y distribución espacial de la precipitación, no es fácil ya que algunas perturbaciones con características similares producen una cantidad y distribución de precipitación diferente, lo cual también trae como consecuencia gastos hidrométricos e inundaciones de diferentes proporciones.

La interpretación se realiza con base en los grupos jerárquicos que se determinaron a partir de los gastos hidrométricos, comenzando con las perturbaciones atmosféricas que generaron grandes inundaciones y terminando con las inundaciones de menores dimensiones.

Y al igual que el análisis de las precipitaciones, se comenzará la interpretación de las perturbaciones atmosféricas con el evento de septiembre de 1944, el cual quedó sin grupo por la razones ya conocidas.

### SIN GRUPO

El huracán de septiembre de 1944 presentó características muy peculiares que hicieron de esta perturbación la causante de la mayor inundación del siglo XX. La trayectoria del meteoro entró directamente a la cuenca, nacido en el Caribe con tipo de huracán 1 (Tabla 6 y Figura 30). Y posteriormente se transformó en tormenta y depresión tropical con vientos de 35 y 20 km / h. respectivamente, descargando todo la humedad sobre la cuenca alta del Papaloapan, ya que atravesó de Golfo a Pacífico. Los caudales que escurrieron consecuencia de las importantes precipitaciones producidas por la perturbación, ocupan el primer lugar en los records máximos nunca antes alcanzados.

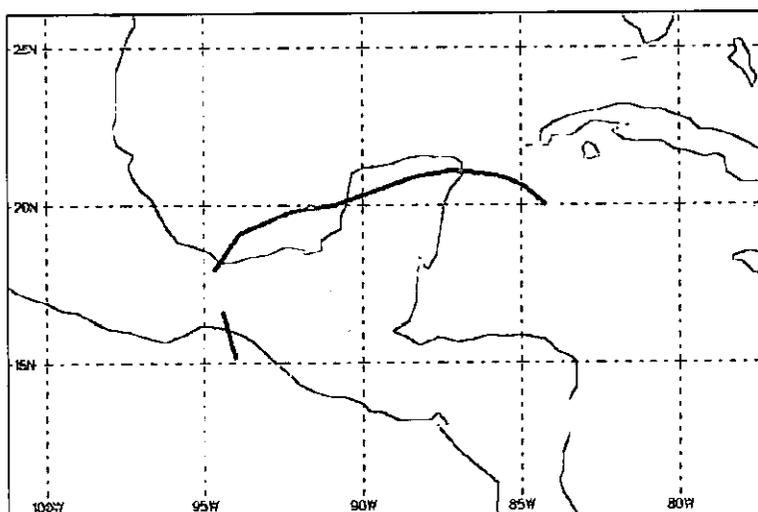


Figura 30. Trayectoria del huracán sin nombre ( 19 al 22 de septiembre de 1944 ), entró a la cuenca por el Golfo de México como huracán 1 (línea roja) y prosiguió como tormenta y depresión tropical (líneas amarilla y verde respectivamente) atravesando territorio mexicano hasta llegar al Pacífico.

### GRUPO 1

Las inundaciones del año de 1969 ocupan el segundo lugar en cuanto a la extensión del área que abarcaron. Las características de los meteoros que las generaron también son muy especiales, ya que para ese año se presentaron en dos ocasiones inundaciones iniciando en el mes de agosto y continuando para septiembre; en este último mes la inundación fue más importante y de él se analizan las trayectorias de los meteoros.

Desde finales de agosto de 1969 se presentó una perturbación atmosférica y de ahí prosiguen otras tres. Dos con origen en el Atlántico y alejadas de la línea litoral y las dos restantes con origen en el Pacífico (tormentas tropicales) y muy cercanas al litoral. Las tormentas tropicales Florence y Glenda originadas en el Pacífico crearon importantes precipitaciones debido a la cercanía sobre todo de la última que corrió en dirección paralela a la costa y muy cercana a la cuenca del Papaloapan (Figura 31 y 32).

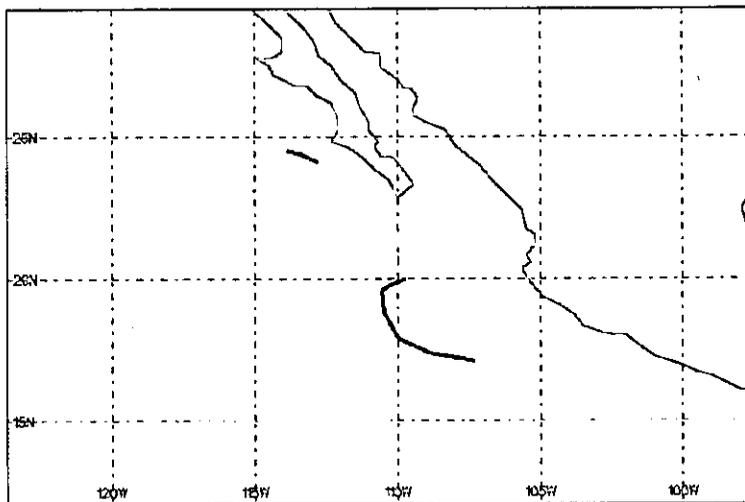


Figura 31. Trayectoria de la tormenta tropical Florence ( 2 al 7 de septiembre de 1969), inició como depresión tropical (línea verde) y continuó al norte como tormenta tropical (línea amarilla).

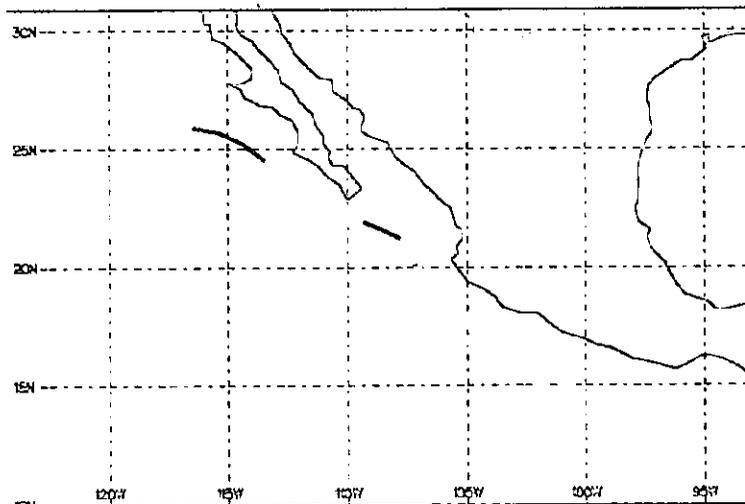


Figura 32. Trayectoria del huracán Glenda ( 8 al 12 de septiembre de 1969), inició como tormenta tropical (línea amarilla) en la costa de Guerrero y continuó como huracán tipo 1 (línea roja). Finalizando como tormenta y depresión tropical (línea amarilla y verde respectivamente) cercana a las costas de Baja California.

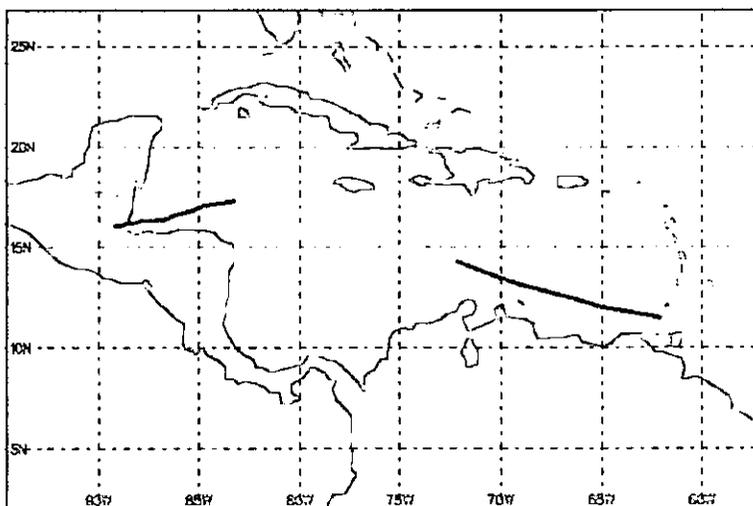


Figura 33. Trayectoria del huracán Francelia (29 agosto al 4 septiembre 1969), inició su recorrido en la Antillas Menores como depresión tropical (línea verde). Finalizó su recorrido en costa Beliceña como huracán tipo 2 (línea rojo claro).

## GROPO 2

Las inundaciones de principios de octubre de 1958 fueron generadas por la presencia de un huracán con categoría No. 1, que mantuvo vientos entre 118-153 Km /h, con una dirección paralela y cercana a la costa del Pacífico (Figura 34). También se presentó el huracán Janice durante esos mismos días aunque su presencia no fue determinante para la contribución de la generación de precipitación.

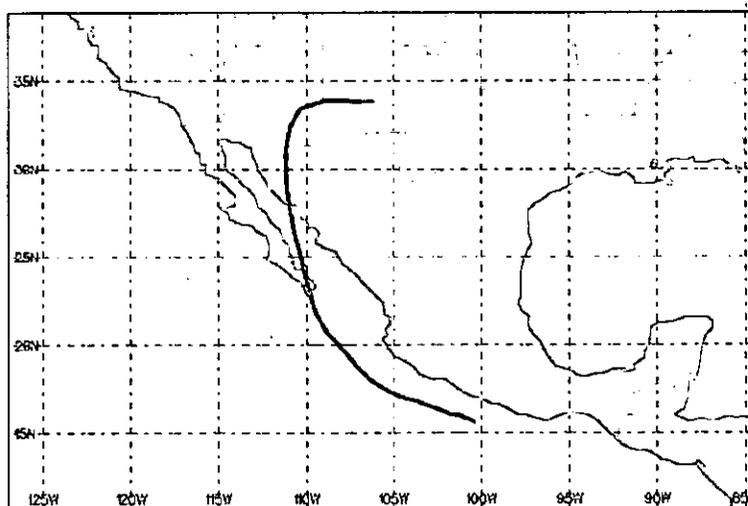


Figura 34. Trayectoria del huracán No. 1 (30 de septiembre al 6 octubre de 1958) todo su recorrido se mantuvo como huracán 1 (línea roja), inició en la costas de Guerrero y continuó su recorrido hacia el norte.

Las inundaciones del 8 al 10 de octubre de 1950 fueron originadas por el huracán Item nacido en las costas de Tabasco y Campeche, como tormenta tropical y alcanzó vientos de hasta 154-177 Km / h, lo cual lo convirtió en un huracán de tipo 2 (ver tabla 6), que tocó tierra en el puerto de Veracruz (Figura 35). Esta perturbación originó gastos que ocuparon el segundo grupo en la jerarquización de los gastos hidrométricos junto con los del año de 1958.

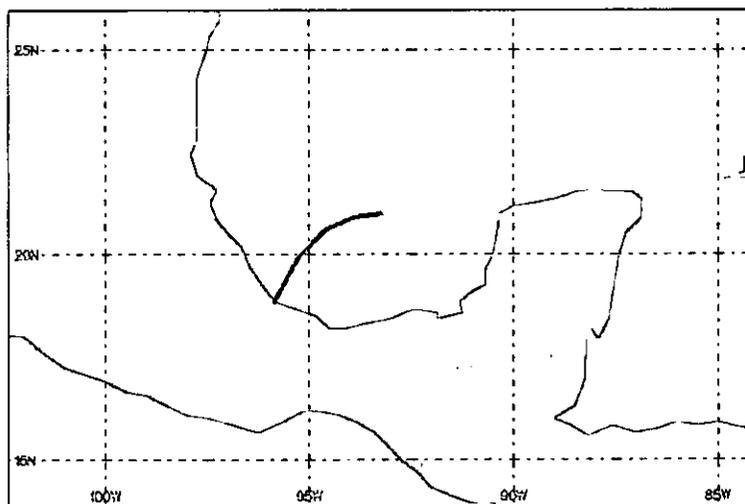


Figura 35. Trayectoria huracán Item ( 8 al 10 de octubre de 1950 ) inició como tormenta tropical (línea amarilla) convirtiéndose en huracán 1 y 2, este último en un pequeño trayecto (línea rojo claro) pero llegando a tierra como huracán tipo I.

### GRUPO 3

En el año de 1974 también se produjo una inundación importante cuando se conjuntaron dos huracanes el Orlene, nacido en el Pacífico y el Fifi proveniente del Atlántico (Figura 36 y 37). En la porción de su trayectoria más cercana a la cuenca se presentaron como depresiones tropicales (Tabla 6).

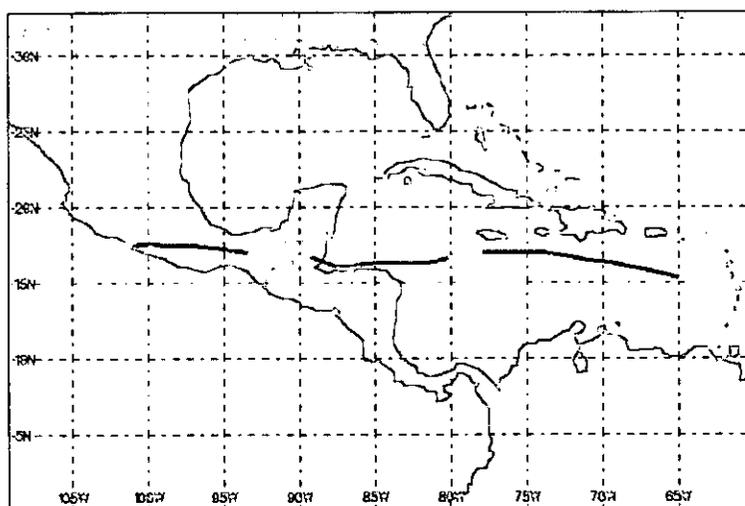


Figura 36. Trayectoria del huracán Fifi (14 al 22 de septiembre de 1974), inició como depresión tropical en el Caribe (línea verde), convirtiéndose en huracán 1 y 2, este último con mayor trayectoria (línea rojo claro), continuando como tormenta tropical (línea amarilla) y llegando

como depresión tropical (línea verde) en la parte alta de la cuenca, atravesando el sur del país hasta llegar a las costas del Pacífico.

El huracán Fifi atravesó la porción media de la cuenca con dirección este a oeste, creando por esa razón mayores gastos en la corrientes de la margen derecha, no así en el mismo Río Papaloapan donde se presentaron gastos más bajos en comparación a otras inundaciones.

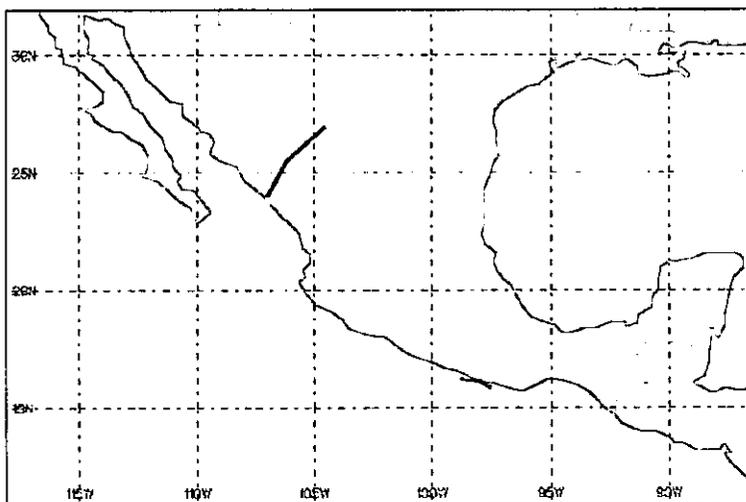


Figura 37. Trayectoria del huracán Orlene ( 21 al 24 de septiembre de 1974), inició como una depresión tropical en la costa de Oaxaca (línea verde) continuó en la mayor parte del recorrido como tormenta tropical (línea amarilla) y terminó como huracán 1 y tormenta tropical tocando tierra (líneas rojo y verde respectivamente) en la costa de Sinaloa.

En el año de 1975 se presentó una importante inundación producida por el huracán Eloise. Este nació en el mar Atlántico, tocó territorio nacional en la península de Yucatán como tormenta tropical (Figura 38). Esta perturbación produjo altos gastos hidrométricos principalmente en las corrientes tributarias de la margen derecha del Papaloapan. Esta perturbación causó la inundación de 162, 000 ha.

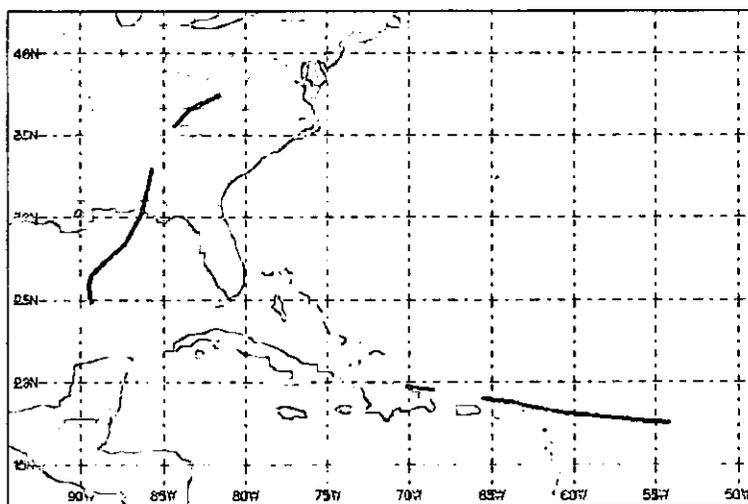


Figura 38. Trayectoria del huracán Eloise ( 13 al 24 de septiembre de 1975), alcanzó la categoría de huracán 3 (línea magenta), pero su mayor recorrido se mantuvo como tormenta tropical (línea amarilla) desde el Caribe tocando la península de Yucatán. Y prosiguió su rumbo hacia el norte tomando mayor fuerza.

Durante las inundaciones de septiembre de 1981 dos perturbaciones se encontraban presentes, ambas originadas en el Pacífico. Las perturbaciones fueron la depresión tropical Irwin y el huracán Hilary, el cual se inició como depresión tropical en su recorrido más cercano a nuestro país (Figura 39 y 40). Sin embargo la depresión tropical Irwin fue la que provocó la mayor precipitación debido a su cercanía con el litoral mexicano, generó gastos hidrométricos muy importantes en todas las corrientes pero principalmente en el Río Papaloapan que alcanzó hasta 5, 275 m<sup>3</sup> /s. Esta perturbación inundó 210, 000 ha.

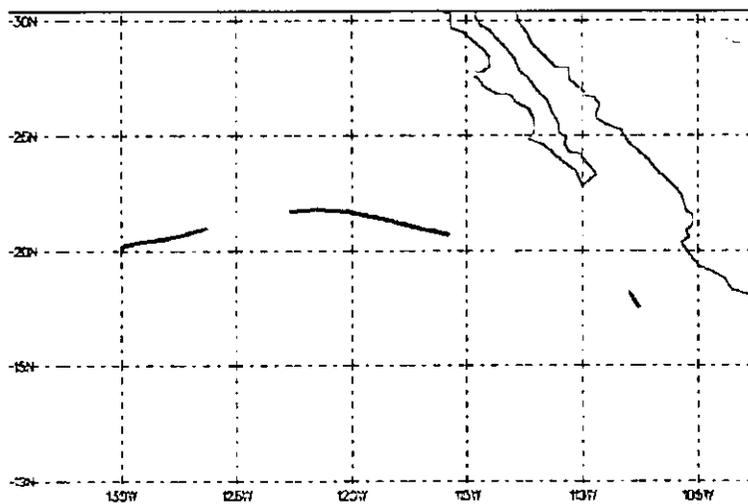


Figura 39. Trayectoria del huracán Hilary ( 21 al 28 de agosto de 1981 ), inició como depresión tropical (línea verde) en las costas de Jalisco continuó como tormenta y alcanzó la categoría de huracán tipo 1 (línea roja) para terminar como depresión tropical muy alejada de la línea de costa.

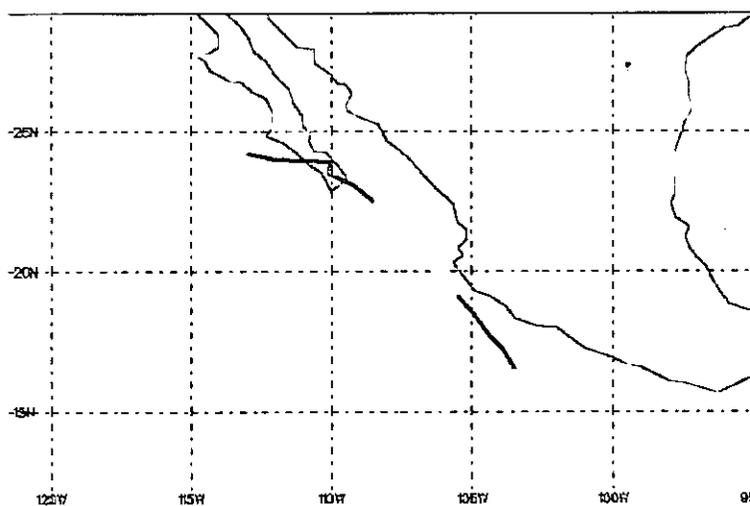


Figura 40. Trayectoria de la tormenta tropical Irwin ( 27 al 31 agosto de 1981), se originó como depresión tropical en las costas de Michoacán (línea verde) y continuó como tormenta tropical (línea amarilla), para terminar como depresión en la península de Baja California.

La perturbación de julio de 1956 fue un huracán 1 (Figura 41) con origen en el Pacífico. Provocó escurrimientos importantes para el Río Papaloapan en el cual se registraron gastos hidrométricos por arriba de los 5,000 m<sup>3</sup> / s. Sin embargo en los tributarios de la margen derecha no se presentaron gastos altos.

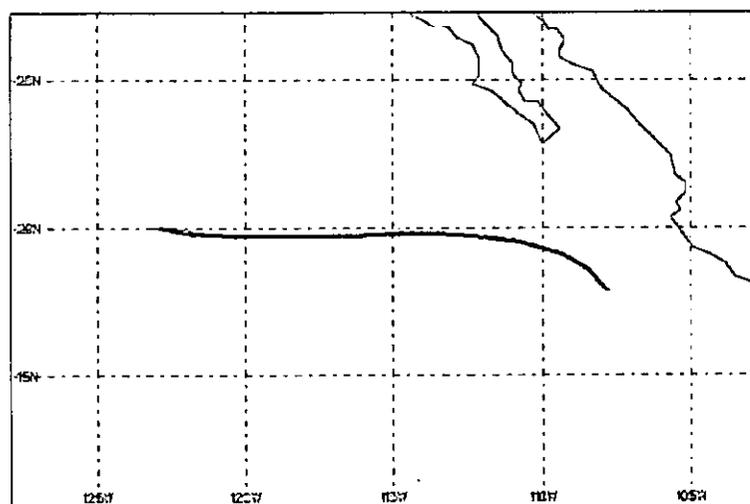
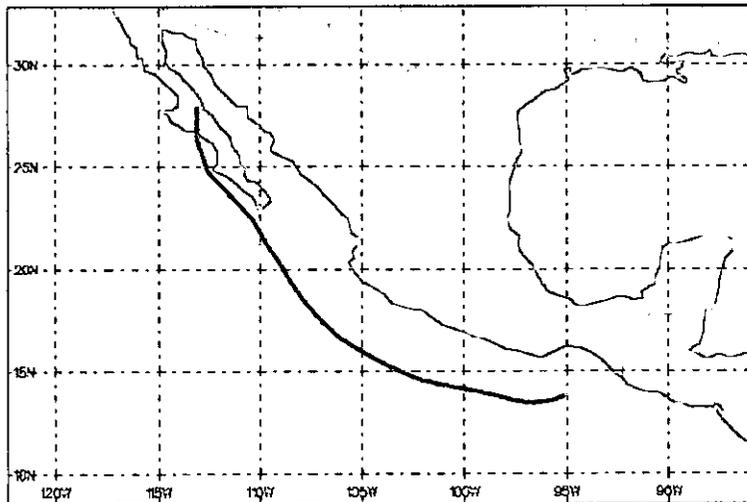


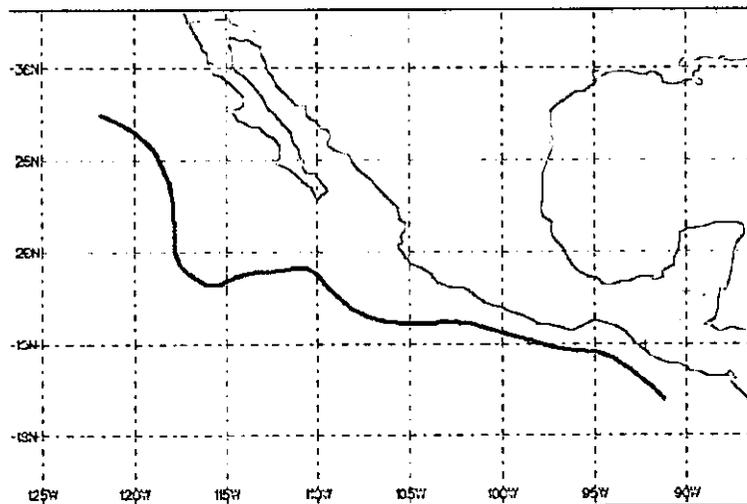
Figura 41. Trayectoria de huracán sin nombre ( 9 al 12 de julio de 1956 ), mantuvo su recorrido en dirección oeste como huracán de tipo 1 (línea roja) terminando alejado de las costas mexicanas.

Las inundaciones de julio de 1954 ocasionadas por el huracán No. 3 nacido en el Pacífico cercana la costa Chiapaneca, tuvo una trayectoria paralela a la costa con dirección al noroeste con vientos de 118-153 km /h, que lo colocaron como un huracán de tipo uno (Figura 42).



**Figura 42. Trayectoria del Huracán No. 3 (12-17 julio de 1954), toda la trayectoria se mantuvo como huracán de tipo 1 (línea roja), inició en la costa de Chiapas para terminar en la costa de Baja California.**

Las inundaciones de finales de agosto y principios de septiembre de 1960 producidas por dos huracanes nacidos en el Pacífico, uno de ellos más cercano el huracán Estelle que siguió una trayectoria paralela al litoral, el cual en todo su recorrido se mantuvo como un huracán de tipo 1 (Figuras 43 y 44). Las dos perturbaciones originaron que las corrientes concentraran importantes gastos hidrométricos.



**Figura 43. Trayectoria del huracán Estelle ( 29 de agosto al 9 septiembre de 1960), trayectoria de huracán tipo 1 (línea roja) que inició su recorrido en las costas guatemaltecas.**

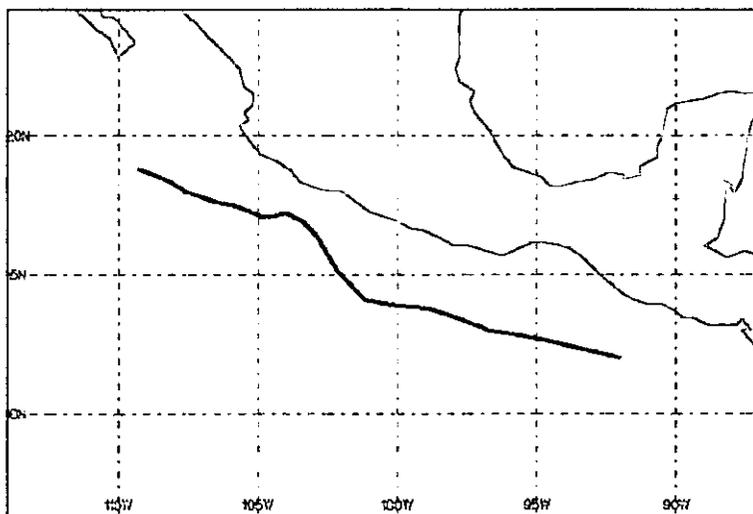


Figura 44. Trayectoria huracán Fernanda ( 3 al 8 de septiembre de 1960 ), mantuvo su recorrido como huracán tipo 1 (línea roja), originado en costas de Guatemala.

En septiembre de 1955 ocurrieron inundaciones en la cuenca del Papaloapan originadas por dos perturbaciones; un huracán y una tormenta tropical, esta última nacida en el Pacífico con vientos de 64-117 km/h y el huracán Gladis nacido en el Golfo pasó de ser depresión, tormenta tropical y huracán de tipo uno con vientos de 118-153 km/h, tocó tierra al norte del estado de Veracruz (Figuras 45 y 46).

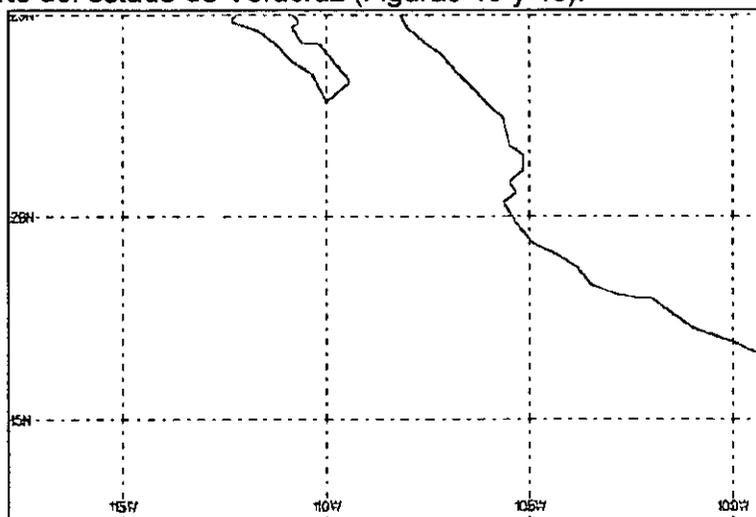


Figura 45. Trayectoria de la tormenta tropical No.4 (1 al 5 de septiembre de 1955), recorrió toda su trayectoria como tormenta tropical (línea amarilla) y se originó en la costa de Colima.

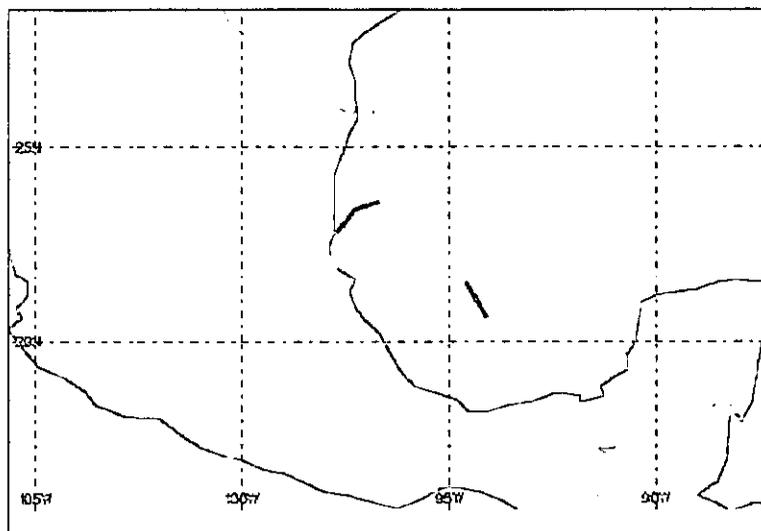


Figura 46. Trayectoria del huracán Gladis (4 al 6 de septiembre de 1955), inició como depresión tropical (línea verde) y alcanzó la categoría de huracán tipo 1 (línea roja), llegando como tormenta tropical (línea amarilla) en la costa de Tamaulipas.

Las inundaciones de julio de 1961 fueron producidas por dos perturbaciones atmosféricas, un huracán llamado Ana nacido en el Caribe, el cual se acercó a territorio mexicano como tormenta tropical con vientos de 64-117 km/h (Figura 48). Pero en realidad causó mayor cantidad de precipitación la tormenta tropical Liza que tuvo una dirección paralela al litoral del pacífico con dirección al noroeste y cercana a la costa (Figura 47).

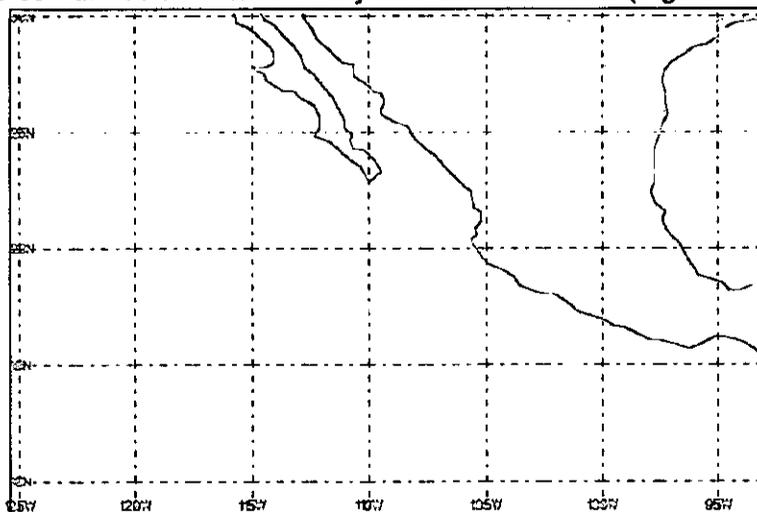


Figura 47. Trayectoria de la tormenta tropical Liza (15 al 19 de julio de 1961), mantuvo todo su recorrido como tormenta tropical (línea amarilla) originada en la costa de Oaxaca.

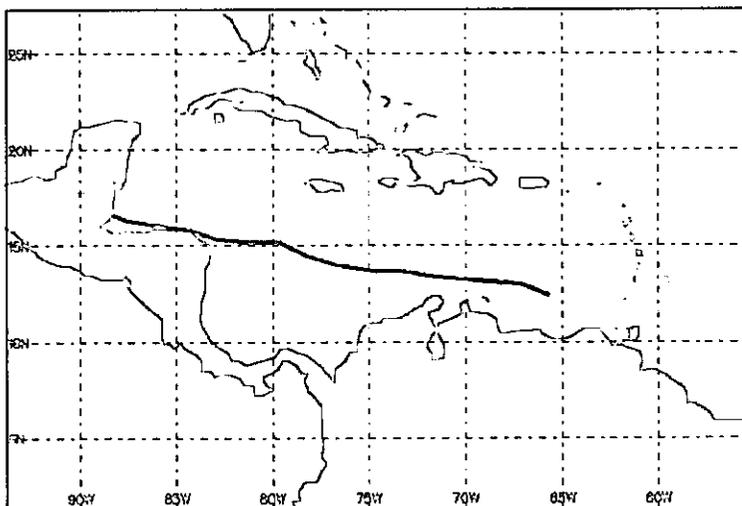


Figura 48. Trayectoria del huracán Ana (20 al 24 de julio de 1961), inició como tormenta tropical en el Caribe (línea amarilla) y alcanzó una categoría de huracán tipo 3 (línea magenta), para terminar cercana al territorio nacional como tormenta tropical.

#### GRUPO 4

La inundación de mediados de agosto en el año de 1988 fue originada por la tormenta tropical John, la cual inició como depresión tropical cuando se encontraba en la parte más cercana a la zona de estudio y generó grandes gastos hidrométricos en las subcuencas de la margen derecha del Papaloapan de 1,4 83 m<sup>3</sup> /s y 1, 943 m<sup>3</sup>/s para los Ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista respectivamente (Figura 49).

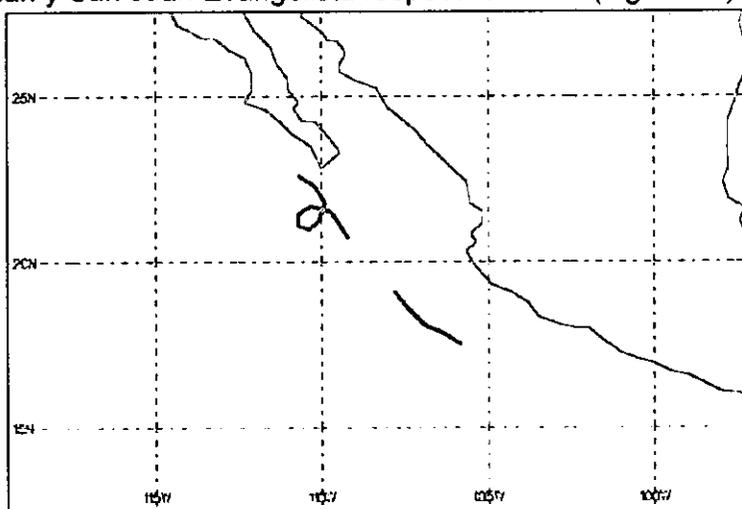


Figura 49. Trayectoria de la tormenta tropical John (16 al 21 agosto 1988), inició como depresión tropical en la costa de Jalisco (línea verde) y prosiguió con una trayectoria al norte como tormenta tropical (línea amarilla) para finalmente terminar como depresión tropical cercana a la península de Baja California.

Las inundación de 1989 fue causada por la tormenta tropical Priscilla nacida en el Pacífico (Figura 50). Inició como depresión tropical muy cercana al litoral y causó gastos importantes en las corrientes tributarias de la margen derecha sobre todo en el Río San

Juan que alcanzó hasta 2,398 m<sup>3</sup>/s. El segundo gasto hidrométrico más importante después del ocurrido en 1969.

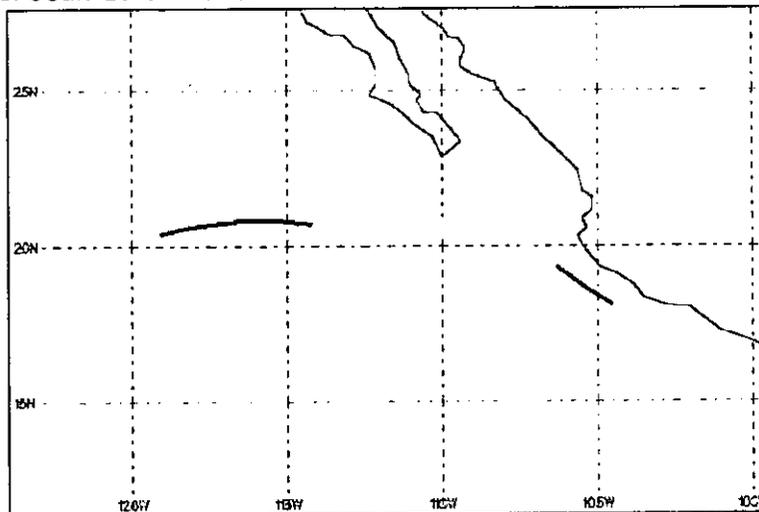


Figura 50. Trayectoria de la tormenta tropical Priscilla ( 21 al 25 septiembre de 1989 ), comenzó como depresión tropical en la costa de Colima (línea verde), continuó como tormenta tropical (línea amarilla) en dirección al oeste y terminó como depresión tropical.

La inundación de 1978 originada por el huracán Greta que nació en el Atlántico en la región de las Antillas menores y tocó tierra en el litoral beliceño como Huracán 2 (ver tabla 6), llegó a territorio mexicano al sur de Chiapas como depresión tropical, la cual generó altos gastos hidrométricos en las corrientes tributarias de la margen derecha del Río Papaloapan (Figura 51).

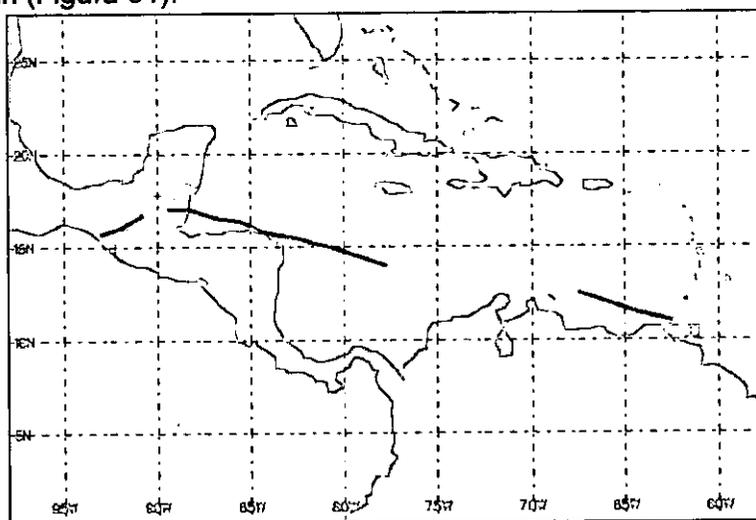


Figura 51. Trayectoria del huracán Greta ( 13 al 20 de septiembre de 1978 ), inició como depresión tropical (línea verde) en el Caribe, alcanzando la categoría de huracán tipo 4 (línea magenta claro), terminando en el territorio nacional como depresión tropical (línea verde).

La inundación de 1991 fue generada por dos huracanes del Pacífico cuya trayectoria paralela al litoral se mantuvo relativamente alejada de la línea de costa (Figuras 52 y 53). En la porción de su trayectoria más cercana a la cuenca del Papaloapan se encontraban como depresión tropical y causaron gastos importantes en las corrientes tributarias de la margen derecha de 1,657 y 1,460 m<sup>3</sup> / s. en el Tesechoacán y San Juan respectivamente.

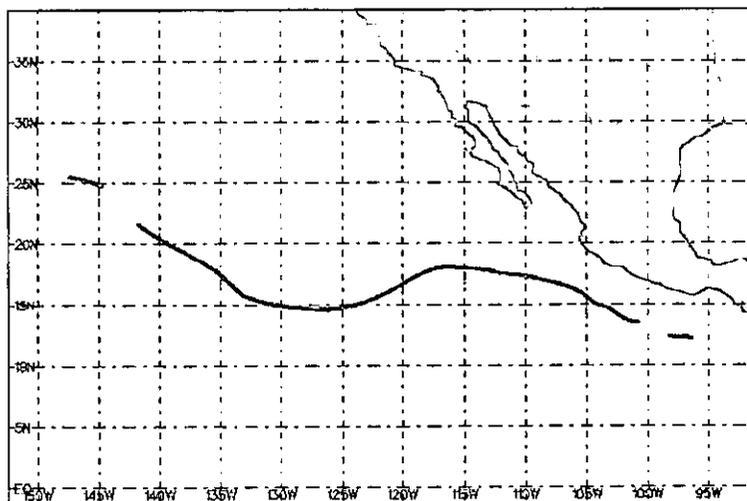


Figura 52. Trayectoria del huracán Kevin ( 25 septiembre al 12 de octubre 1991 ), inició como depresión tropical alejado de la costa de Oaxaca (línea verde), convirtiéndose en su recorrido en huracán de tipo 4 (línea magenta claro), continuando en dirección noroeste hacia el interior del océano Pacífico para terminar como depresión tropical.

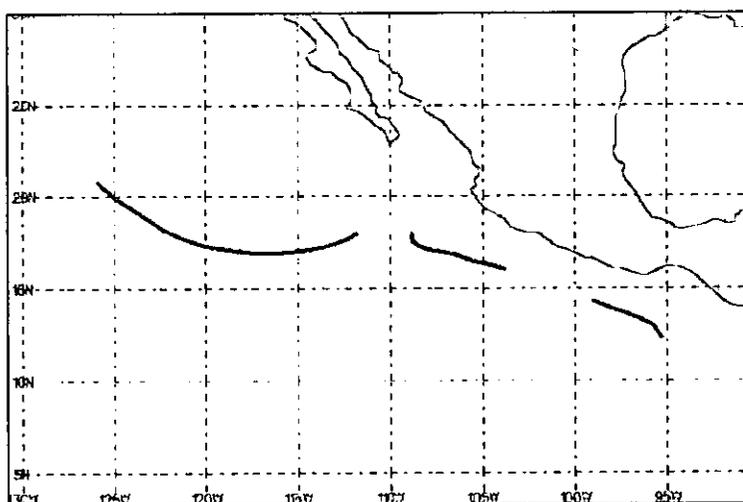
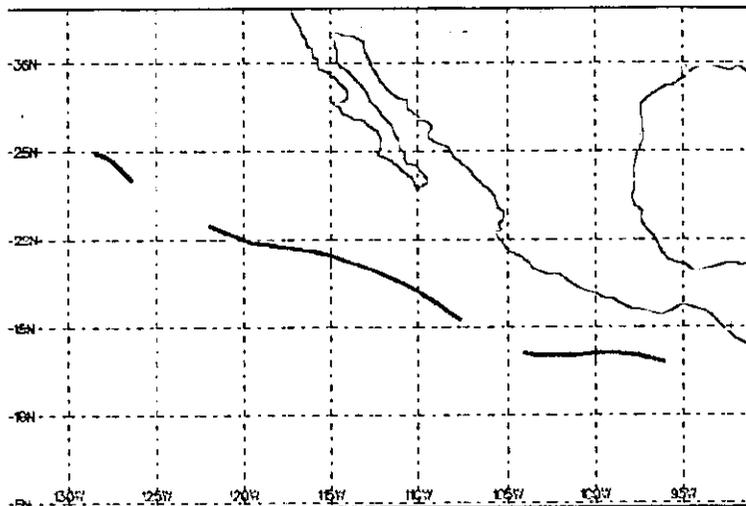


Figura 53. Trayectoria del huracán Marty ( 7 al 18 de octubre de 1991 ), inició como depresión tropical en la costa de Chiapas (línea verde) y alcanzó la categoría de huracán tipo 1 (línea roja) para terminar buena parte de su recorrido al interior del océano como depresión tropical (línea verde).

La perturbación de 1976 se mantuvo alejada de la línea litoral, pero debido a que en su porción más cercana a la cuenca se presentó como depresión tropical, originó gastos importantes para las corrientes tributarias de la margen derecha (Figura 54).



**Figura 54. Trayectoria huracán Iva ( 24 de agosto al 2 septiembre de 1976 ), comenzó como depresión tropical entre las costas de Chiapas y Oaxaca (línea verde), dirigiéndose al noroeste para convertirse en huracán tipo 4 (línea magenta claro) y terminando como depresión tropical.**

Antes de realizar el análisis de las perturbaciones atmosféricas debe señalarse que no es posible realizar observaciones definitivas ni conclusiones determinantes, ya que como se mencionó anteriormente las perturbaciones atmosféricas son muy complejas porque se observa que dos meteoros con características similares pueden causar precipitaciones con diferente distribución y magnitud, lo que por consecuencia acarrea inundaciones de distinta afectación.

Pero a grades rasgos podemos realizar las siguientes observaciones acerca de las perturbaciones atmosféricas que produjeron las inundaciones ocurridas en la cuenca del Río Papaloapan, sin que ello implique que sean las únicas combinaciones.

Se producen inundaciones extraordinarias cuando un huracán entra directamente a la cuenca y descarga toda su humedad, como fue el caso de la inundación del siglo XX ocurrida en el año 1944, situación con muy escasa probabilidad de ocurrencia pero no exenta de producirse nuevamente.

Se originan inundaciones de gran magnitud cuando se suman varias tormentas tropicales y depresiones tropicales originadas tanto en el Pacífico como en el Golfo de México y cercanas al litoral, como lo fue en 1969 que ocurrieron dos perturbaciones a finales de agosto y prosiguieron otros tres meteoros para los primeros días de septiembre, este evento forma parte del grupo 1.

Se producen grandes inundaciones consecuencia de huracanes con una trayectoria muy cercana a la línea de costa o que tocan tierra con poca distancia de la cuenca del Papaloapan, como fueron los casos de los meteoros de octubre de 1950 y 1958 correspondientes al grupo 2.

Los grupos tres y cuatro los conjuntamos porque las características de las perturbaciones entre estos dos grupos no manifiestan grandes diferencias, encontramos que en ambos

se observa que las inundaciones son generadas por huracanes y principalmente tormentas y depresiones tropicales, los cuales manifiestan en el caso de la costa Pacífica una trayectoria paralela a la costa pero que inicia desde el sur de la costa de Chiapas.

La trayectoria que realizan las perturbaciones por el lado de la costa Pacífica, en especial las que inician su trayectoria desde la costa sur de Chiapas, generan un respuesta rápida a la concentración de los escurrimientos en la cuenca alta del Río Papaloapan.

Y en el caso de las perturbaciones del Golfo cruzan la porción alta de la cuenca con una dirección de este a oeste, produciendo para ambos grupos, altos gastos hidrométricos en las corrientes de la margen derecha de la cuenca del Papaloapan.

#### VI.2.4 Análisis de los eventos hidrometereológicos

La información de los eventos hidrometereológicos representados por los gastos hidrométricos, las precipitaciones y las perturbaciones atmosféricas, determinan cuatro escenarios en los cuales se han llevado a cabo las inundaciones ocurridas en la cuenca del Papaloapan desde 1947 hasta 1997 expresados en la tabla 7.

Se observa que la ubicación y cercanía de las perturbaciones en la cuenca del Río Papaloapan, es determinante para la distribución y abundancia de la precipitación, de los altos gastos hidrométricos y por consecuencia del desarrollo de las inundaciones.

El primer escenario muestra cómo la entrada directa de un huracán en la cuenca, como fue el caso de la inundación de 1944, propició abundantes inundaciones, en extensiones importantes de la cuenca, abarcando todo el curso alto de las principales corrientes. Esto mismo sucedió pero en menor dimensión para la inundación de 1969, donde al conjuntarse varias perturbaciones tanto del Pacífico como en el Atlántico, también generaron la misma condición de una gran superficie con abundante precipitación (ver tabla 7), en donde se alcanzaron los gastos hidrométricos más altos registrados, según la CNA reportó para 1944 470,000 ha inundadas y para 340,000 ha en el mismo sentido.

El segundo escenario presenta la distribución de los datos más altos de la precipitación, en una extensión más reducida, acarreado con ello sólo altos gastos hidrométricos para las corrientes de la margen derecha y en el curso principal (ver tabla 7). Esto producto de huracanes que no entraron en la cuenca, pero cuya trayectoria fue muy cercana a está, y a las subcuencas de la margen derecha del Río Papaloapan. Dichas perturbaciones generaron una superficie de 195,000 ha inundadas.

En los escenarios tres y cuatro las condiciones son más complicadas, ya que las perturbaciones no siguen un patrón sencillo como en los dos escenarios anteriores. En estos dos últimos escenarios participan tanto huracanes como tormentas y depresiones tropicales. No obstante es posible realizar las siguientes relaciones.

Los huracanes de los escenarios tres y cuatro que nacen en el Pacífico, no tocan tierra, pero su trayectoria se encuentra muy cercana a la línea litoral comenzando en la parte más al sur del país, afectando desde la costa de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán hasta Nayarit siguiendo un rumbo noroeste.

TIPO DE INUNDACIÓN	RANGOS DE GASTOS HIDROMÉTRICOS	RANGOS DE PRECIPITACIÓN	DE LAS PERTURBACIONES
I. INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 6,850 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 1,404 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 4,165 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 436	Una franja en toda la cuenca alta con precipitación mayor a 500 mm/72 hrs. o centros del alta precipitación arriba de los 100 mm/48 hrs., abarcando todo el curso alto de la cuenca y alcanzando 450 mm/48 hrs.	Cuando un huracán entra directamente a la cuenca o cuando se suman varias tormentas y depresiones tropicales originadas en el Pacífico y Atlántico y cercanas al litoral.
II. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 6,228 a 6,825 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 756 a 975 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 550 a 641 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 217 371 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> 500 mm/72 hrs. o 550 mm/48 hrs. <b>M. derecha:</b> Menores de 100 mm/48 hrs. Y por arriba de 100 mm/72 hrs.	Huracanes con una trayectoria muy cercana a la línea de costa o que tocan tierra con poca distancia de la cuenca
III. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LAS CORRIENTES DE LA MARGEN DERECHA Y BAJOS GASTOS EN LA CORRIENTE DE LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 3,846 a 5,275 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 715 a 2,093 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 657 a 2,076 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 50.6 a 656 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> 400 mm a 550 mm/72 hrs. 400 mm/48 hrs. <b>M. derecha:</b> Mayores de 100 mm alcanzando hasta 350 mm/72 hrs. o 150 mm/48 hrs.	Huracanes, tormentas y depresiones tropicales, que en la costa Pacífica presentan trayectoria paralela a la costa iniciando desde la costa de Chiapas. Y/o para el caso del Golfo cruzan la porción alta de la cuenca con una dirección de este a oeste
IV. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LAS CORRIENTES DE LA MARGEN DERECHA Y MUY BAJOS GASTOS EN LA CORRIENTE DE LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 1,724 a 3,141 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 747 a 1,871 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 566 a 2,398 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 50.3 a 475 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> Menores de 400 mm/72 hrs. * <b>M. derecha:</b> Mayores a 300 mm/72 hrs. *	Huracanes, tormentas y depresiones tropicales, que en la costa Pacífica presentan trayectoria paralela a la costa iniciando desde la costa de Chiapas. Y/o para el caso del Golfo cruzan la porción alta de la cuenca con una dirección de este a oeste

Tabla 7. Tabla que concentra los datos hidrometeorológicos en cuatro escenarios.

\*Esta información no cuenta con los mapas de isoyetas, los resultados están basados en estimaciones de gastos hidrométricos y mapas de isoyetas de eventos anteriores.

Esa misma trayectoria también la efectúan tormentas y depresiones tropicales, resultando con ello que las subcuencas de la margen derecha sean las que concentren mayor cantidad de precipitación, ya que son las primeras en recibir al meteoro (ver tabla 7).

La presencia de las perturbaciones en la costa Pacífica generan un mayor peligro al desarrollo de los procesos de inundación, ya que en numerosas ocasiones se han

manteniendo relativamente alejadas de las costa y/o no tocan tierra pero sin embargo la cantidad de escurrimiento que producen es muy importante.

Existen otras perturbaciones atmosféricas para los escenarios tres y cuatro, que sí tocan tierra y también acarrear una importante concentración de precipitación y altos gastos hidrométricos en las subcuencas de la margen derecha, debido a que su trayectoria mantiene una dirección este- oeste; naciendo estas perturbaciones en el Atlántico, atravesando directamente la cuenca y llegando en algunas ocasiones al Océano Pacífico.

Por otro lado, respecto a las tendencias de la precipitación total anual y los máximos gastos hidrométricos, es claro que el incremento de éstos últimos en dos subcuencas de la cuenca del Río Papaloapan, no es causado por la precipitación, ya que está no presenta ninguna tendencia de incremento. Posiblemente la tendencia de los gastos hidrométricos se deba a cambios en la cubierta vegetal.

Las perturbaciones de los escenarios tres y cuatro generaron una superficie inundada desde 40,000 ha en 1996 hasta 210,000 ha en 1981.

## IV.3 CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL Y ANÁLISIS DE PENDIENTES

### IV.3.1 Cambios en la cubierta vegetal

El presente tema es una descripción histórica de lo que constituía la vegetación potencial en la llanura baja y en toda la cuenca del Río Papaloapan. La información se remonta desde épocas prehispánicas hasta la actualidad.

El análisis de las modificaciones en la vegetación y el estudio de las pendientes del terreno se realiza en toda la cuenca, debido a que la transformación del primero y las características del segundo acarrearán importantes consecuencias en la concentración de los escurrimientos y en el desarrollo de los procesos de inundación.

Para llevar a cabo el análisis de las modificaciones que ha sufrido la cubierta vegetal, generamos nuestra propia información a través de la interpretación de las imágenes de satélite. Esto con la finalidad de impedir incompatibilidad de leyendas, lo cual sucede al tratar de utilizar trabajos de vegetación generados años atrás con tipos de vegetación que agrupan comunidades de vegetación distinta.

La interpretación visual se realizó a través de cuatro imágenes de satélite Landsat MSS del año 1973 y otras del año de 1993 que forman parte de la actualización que realizó INEGI a partir de la interpretación de imágenes Landsat TM, donde se tomó como base la cartografía elaborada por ellos mismos en la década de los 70's.

La interpretación de las imágenes se realizó mediante un compuesto de color, donde se utilizan las bandas 2, 3 y 4. Este compuesto resalta las características de la vegetación teniendo así mayor facilidad para identificar la superficie con vegetación vigorosa.

Y como últimos puntos se analizan las relaciones existentes entre las modificaciones en la cubierta vegetal y las pendientes de terreno como factores que intervienen en la magnitud y características de los escurrimientos hídricos, así como para el transporte de sedimentos.

#### IV.3.1.1 Antecedentes históricos

La cuenca del Papaloapan ha sufrido modificaciones desde hace centurias, pero la utilización del suelo en la cuenca inició sólo en determinadas regiones o localidades que ofrecían condiciones más favorables, ya sea por su cercanía hacia grandes núcleos poblacionales, por su clima, por la fertilidad de las tierras, etc.

Durante la época prehispánica se cultiva el maíz en el valle de Tehuacán, Puebla donde localizaron muestras desde el año 3,500 a 2,300 a. C. (Neish y colaboradores tomado de SARH, 1977) en la cueva de Coxcatlán. Se encuentran para otros periodos en la misma cueva muestras de calabaza, chile, aguacate, hilos de algodón, quelite, haba, zapotes, ejotes, frijol. Y finalmente para el periodo de 200 a. C. a 700 d. C., Byers señala el uso del riego y añade a la lista de especies vegetales tomate, cacahuete, frijol blanco y guayaba (tomado de SARH, 1977)

En la llanura baja durante el periodo de 800 a 200 a. C., los vestigios arqueológicos de la cultura Olmeca indican que fueron los primeros que utilizaron el hule (SARH, 1977)

Durante el imperio azteca las poblaciones indígenas de la cuenca del Papaloapan rendían tributo con los productos que en ella se producían. Entre estos destacaban la fibra de algodón, cacao y pelotillas de hule. El cacao de vital importancia por su exquisitez y porque fue usado como moneda por los mexicas y el hule porque la provincia de Tuxtepec era la única que lo tributaba dentro del imperio (SARH, 1977).

En el alto Papaloapan resaltaba el tributo de grana, extraído del nopal que era sembrado en grandes extensiones de la mixteca, señal de sus limitaciones para otros cultivos (SARH, 1977)

Durante la época hispánica los españoles continúan los cultivos de algodón tradicionales de los indígenas, pero los implementan en otras sitios como Valle Nacional, pero debe aclararse que si en la época prehispánica la población era escasa en la costa veracruzana, durante la conquista se acentuó más este hecho, ya que con el despojo de las tierras, la explotación del indígena y las enfermedades, como la viruela que trajeron consigo los españoles, además de otras como la fiebre amarilla, diezmaron a la población indígena (SARH, 1977)

El cultivo del algodón se perpetuó durante los siglos XVI, XVII, en los sitios tradicionales de la cuenca, y durante el siglo XVIII debido al auge que tiene este producto en Europa, se introduce en otros sitios como Tlaxicoyan y Medellín e inicia una migración de la gente de la mixteca oaxaqueña para la pizca de algodón (SARH, 1977)

A principios y mediados del siglo XIX se tienen siembras de algodón en las siguientes localidades Tlaxicoyan, Los Tuxtlas, Cosamaloapan, Acayucan, Chacaltianguis, Tuxtepec, Amapa; Playa Vicente, Paso San Juan, Ojitlán y Cordoba (SARH, 1977)

Los cultivos de algodón durante el porfiriato (1872-1910) lograron tener un apogeo debido a la penetración de la vía del tren y el establecimiento de una navegación fluvial de vapor, aumentando las plantaciones a Tuxtepec y Playa Vicente, las cuales se encontraban en manos de estadounidenses (Marchal y Palma, 1985) Y a partir de 1875 se alternan los cultivos de café y tabaco al del algodón, éste último para el año de 1878 convierte al estado de Veracruz como el primer productor del país (SARH, 1977)

Pero al iniciar el siglo XX pierde totalmente su importancia en la producción de algodón, como consecuencia de las plagas, de los nortes, falta de mano de obra, altos costos de los fletes y al auge que tiene el cultivo en Coahuila y Durango (SARH, 1977)

Durante el periodo de la revolución mexicana y hasta 1947, la llanura baja del Papaloapan toma un nuevo auge, debido a la reforma agraria, que realiza la creación de ejidos, los cuales transforman terrenos baldíos y zonas forestales en áreas de cultivo. La ley permitía a la propiedad privada conservar hasta 300 ha de plantaciones además de las parcelas ficticias entre parientes. Así entre los ejidos y la propiedad privada para 1953 se encontraban cultivadas 27,000 ha contra 1,500 ha de caña de azúcar que existían a principios de siglo (Marchal y Palma, 1985)

Pero el gran desarrollo de la zona cañera en realidad se produjo después de la construcción de la Presa Temascal (Miguel Alemán) que permitió utilizar nuevas tierras a

lo largo del Río Papaloapan. Así la superficie cultivada por caña de azúcar paso de 30, 000 ha en 1950 a 80, 000 ha ( Marchal y Palma, 1985) Para la SARH (1990) está cifra varía teniendo para 1950 de 268, 796 ha a 348, 156 ha.

El auge agrícola en el bajo Papaloapan no sólo se debió a la construcción de la presa Temascal, sino también a la construcción de nuevas vías de acceso como lo fueron el ferrocarril del sureste, que cruza la parte media de la cuenca, inaugurado en 1953 y el ramal Rodríguez Clara Isla, originando poblados a las orillas de las vías que se convirtieron en nuevos polos de desarrollo entre ellos Tierra Blanca, Tres Valles, Papaloapan, Loma Bonita, Villa Azueta, Isla, Rodríguez Clara, Juanita y San Andrés Tuxtla (SARH, 1977)

También se construyeron caminos troncales que comunicaban poblados a los cuales antes sólo se llegaba por vía fluvial o en el mejor de los casos por tren, ellos son: Tuxtepec, Cosamaloapan, Tlacotalpan, Alvarado, Valle Nacional entre otros (SARH, 1977)

Y es así como en 22 años la superficie cultivada se amplió de 300,451 ha en 1948 a 626,378 ha en 1970 equivalentes a un incremento de 108% (SARH, 1977) Las mayores superficies incorporadas a la agricultura pertenecen a los municipios de: Cosamaloapan, Tierra Blanca, Tezonapa, Córdoba, Orizaba, Rodríguez Clara, Tesechoacán, Tlacotalpan, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Alvarado, Ignacio la Llave y Tlalixcoyan todos ellos pertenecientes al estado de Veracruz.

En el estado de Oaxaca la superficie agrícola se amplía en Tuxtepec, Loma Bonita y Cosolapa en la cuenca baja; mientras que en la cañada Teotitlán, Las Cues, Tecomavaca, Cuicatlán y Valerio Trujano.

Y por último en el estado de Puebla se implementan nuevas áreas agrícolas en las localidades de Tehuacan, Palmar del Bravo, Esperanza, Altepexi, Coxcatlán, Santiago Miahuatlán, Chapulco, Tepanco y Tlacotepec (SARH, 1977), donde se introdujeron cultivos. El número de localidades en el estado de Puebla es menor porque en la zona de la cañada poblana desde épocas prehispánicas contaban con la utilización agrícola, además esta región dispuso de vías de acceso de forma temprana con respecto a la planicie costera, la cual se encontraba aislada.

Las nuevas superficies agrícolas implementadas en la llanura baja de la porción del estado de Veracruz sustituyeron a la vegetación que según informes de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, constituían extensas sabanas y campos de bambusas (otates) (SRH, 1949) Esté mismo informe describe en los distritos de los Tuxtlas, Acayucan y Tesechoacán, la ubicación de bosques tropicales de verdadera importancia. Donde calcula en unas 600,000 ha de bosque únicamente para la parte veracruzana de la cuenca y menciona que existen en estos bosques maderas de cedro, encino, caoba y primavera (SRH, 1949)

Describe bosques altos y maleza enmarañada que se encuentra en la zona Chinantla, abarcando desde Valle Nacional hasta Ojitlán y Tuxtepec (Figura 55). Se calcula en 900,000 ha la extensión de bosques que existen en la parte alta de cuenca (SRH, 1949)

**A** Zona de bosque mesófilo tropical  
**a** Sabanas secundarias  
**B** Zona de vegetación hidrófila y acuática  
**C** Zona de manglares y vegetación litoral  
**D** Sabanas originales subxéricas  
**Ea** Bosque mesófilo tropical de cerro declive oriental

**Eb** Bosque mesófilo tropical de cerro macizo de los Tuxtlas  
**F** Zona de bosque mesófilo subtropical  
**G** Zona de bosque y vegetación de montaña  
**H** Zona de vegetación xerófila



**Figura 55. Distribución y calidad de las zonas vegetales de la cuenca ( SRH, 1949)**

Según reportes de la SRH (1965) a través de trabajos realizados por la Comisión del Papaloapan, la cubierta vegetal para las subcuencas de la porción alta de la cuenca presenta seis categorías en los siguientes porcentajes 1) arbolado denso 25%; 2) arbolado poco denso 32%; 3) maleza 13%; 4) terrenos cultivados 20%; 5) suelos desnudos 6% y 6) lagunas, ríos, caminos, poblaciones 4%.

La información anterior expresó que las subcuencas de los afluentes del Río Salado (Zapotitla, Calapilla y Xiquila), así como los afluentes del Río Grande (San Pedro, Apoala, Tomellin y Jayacatlán) mantienen extensas áreas con vegetación de maleza, propias de zonas con muy poca cantidad de precipitación anual. Además de áreas importantes con terrenos cultivados y suelos desnudos. Los Ríos Salado y Grande son los formadores del Río Santo Domingo el cual forma parte de la margen izquierda del Río Papaloapan.

En el caso de las subcuencas de la margen derecha del Papaloapan se reporta que la subcuenca del Río Valle Nacional presenta una superficie importante de arbolado denso y en los cursos medios y altos de las subcuencas de los ríos Tesechoacán y San Juan

Evangelista expresan superficies tanto de arbolado poco denso y denso y presenta tan sólo áreas muy pequeñas con vegetación de maleza como de terrenos desnudos.

Se estima que de las 4,651,700 ha que constituyen el total de la cuenca, un millón son arboladas en la actualidad; de ellas se consideran 200,000 comerciales y 800,000 no comerciales (SARH, 1977)

Se considera existen 36,000 km<sup>2</sup> no arbolados modificados por la actividad agricultura nómada, dentro de esta superficie con vocación forestal por naturaleza, se encuentra la zona de Huautla de Jiménez así como las faldas del Cempoaltepetl y el área de Zongolica (SARH, 1977)

"En Huautla es verdaderamente triste ver que no queda un sólo bosque que conserve la vegetación original, quedando solamente pequeñas áreas de algunas especies de latifoliadas, como el liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua*) que se presente en una segunda generación " (SARH, 1977).

TIPO DE VEGETACIÓN	Superficie (ha)
Manglar	6, 981
Popal	45, 290
Inundable	154, 825
Palmar de Sabal	835
Palmar de Scheelea	336, 711
Sabana	82, 020
Selva alta perennifolia	592, 204
Selva mediana subperennifolia	666, 065
Selva mediana subcaducifolia	5, 009
Selva baja perennifolia	2, 922
Selva baja caducifolia	8, 348
Selva baja caducifolia espinosa	97, 072
Bosque latifoliado perennifolio	264, 965
Bosque caducifolio	275, 771
Bosque escuamifolio	7, 930
Bosque aciculiesclerófilo	306, 659
Bosque aciculifolio	361, 693
Bosque alto aciculifolio	36, 730
Bosque latifoliado esclerófilo caducifolio	6, 156
<b>TOTAL DE SELVAS Y BOSQUES</b>	<b>2, 631, 524</b>
Matorral mediano esclerófilo	239, 868
Matorral mediano subinermes	87, 029
Matorral oligo-cilindrocaule	199, 774
Matorral rosetofilo	107, 093
Matorral de Prosopis	169, 722
Sabana de Quercus	590, 118
<b>TOTAL</b>	<b>4, 651, 700</b>

Tabla 8. Superficies estimadas de vegetación según la SARH (1975)

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

En las faldas del Cempoaltepetl se localiza la vegetación original solamente en las partes más altas y en aquellas áreas verdaderamente inaccesibles para la agricultura. En el área de Zongolica sólo se encuentran bosques de *Pinus patula*, en muy buenas condiciones (SARH, 1977)

La información sobre vegetación para el año de 1975 muestra un corredor angosto de selva alta perennifolia en dirección sureste-noroeste que corre de forma continua en la cuenca del Papaloapan. La superficie fue calculada en 592,204 ha de selva alta. Y en resumen la suma de las superficies arboladas para los diferentes tipos de selva y bosque dan como resultado 2,631,524 ha forestales según información de la SARH para 1975 (SARH, 1977)

Trabajos más recientes mencionan que el estado de Veracruz por ser uno de los más productivos del país, ha modificado la estructura original del paisaje, en un 52% con áreas que constituyen áreas muy fuertemente modificadas, donde se establecen estructuras primarias con agrosistemas altamente mecanizados; siendo el caso de la porción baja de la llanura del Río Papaloapan (Giddings et al, 1996)

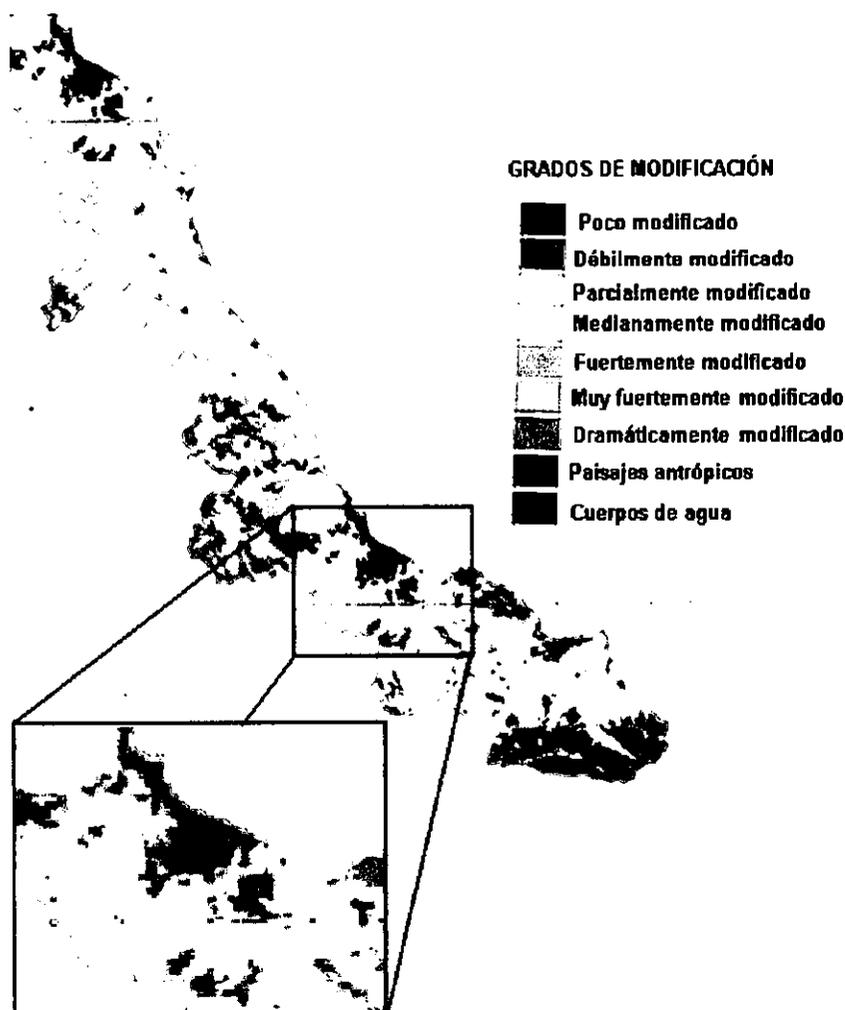


Figura 56. Mapa de modificación ecológico-paisajístico de Veracruz ( Giddings et al., 1996)



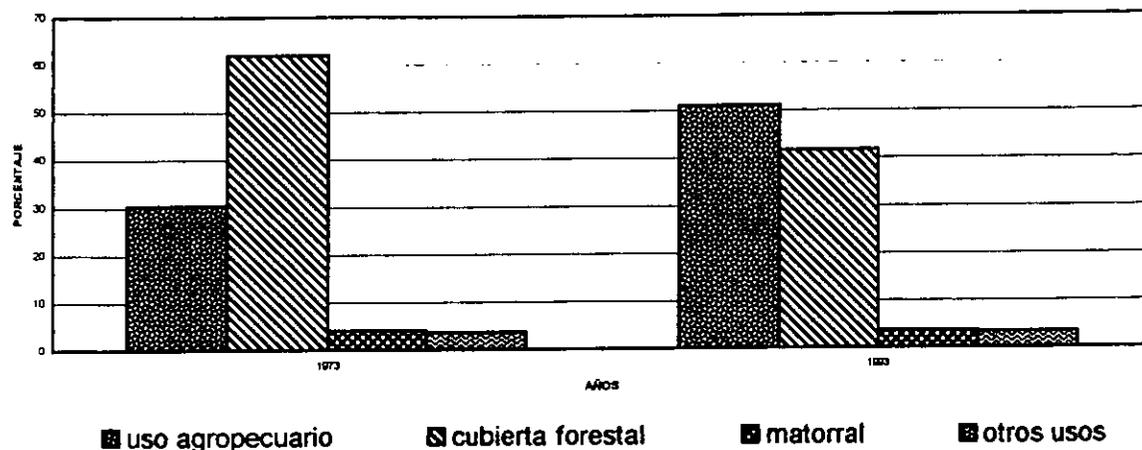


Figura 58. Cambios en el uso del suelo durante el periodo de 1973-1993

Pero veinte años después interpretando la información de 1993, la superficie de la cubierta vegetal y del uso del suelo había cambiado sustancialmente, presentando un aumento en el uso agropecuario con un 51.1 % (2,349,620 ha), mientras que la cubierta forestal se ve reducida a un 41.7 % (1,919,953 ha), es decir una deforestación de un 20.4% de la superficie de la cuenca (Figura 58) (Tabla 9).

La superficie correspondiente a matorrales sufrió también una ligera pérdida al presentar 3.6 % (169,553 ha), es decir un .5% menos que en 1973. Y el último grupo presentó 3.4% de superficie (158,049 ha), disminuyendo de forma mínima.

TIPO DE VEGETACIÓN O USO DEL SUELO	1973 (ha)	SUP. EN %	1993 (ha)	SUP. EN %
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

Tabla 9. Superficies de la cubierta vegetal para el periodo entre 1973-1993

Los resultados anteriores muestran una importante modificación de la cobertura vegetal en la cuenca del Río Papaloapan, pero ahora es necesario determinar en cuáles subcuencas se presentan las mayores modificaciones.

Las ocho subcuencas que conforman la cuenca del Papaloapan presentan un importante porcentaje de pérdida forestal (Figura 58), mostrando como dato mínimo un 8.2% y alcanzando hasta un 45% de cambio de la vegetación original.

Los porcentajes se refieren a la superficie deforestada en el periodo entre 1973 y 1993 con respecto de la superficie total de cada subcuenca, teniendo así, las subcuencas con mayor porcentaje de superficie vegetal modificada durante dicho lapso de tiempo.

La subcuenca que muestra el mayor cambio y por tanto la mayor pérdida forestal es la del Río Obispo (ver tabla 10). La pérdida de superficie forestal en esta subcuenca fue de un

45 % (44, 275 ha) del área forestal con respecto al área total de la subcuenca, la cual perdió terreno para dar paso a un uso agropecuario.

La distribución de las áreas forestales pérdidas en las subcuencas del Río Obispo muestran un avance uniforme en forma de franja con dirección al sur, aguas arriba de los cursos fluviales.

La segunda posición la ocupa la subcuenca del Río San Juan Evangelista, que 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 que en ésta todavía conserva pequeños manchones de bosques inmersos en la zona deforestada.

<b>NOMBRE DE LA SUBCUENCA</b>	<b>SUPERFICIE EN HA</b>	<b>SUPERFICIE FORESTAL PÉRDIDA EN HA</b>	<b>PÉRDIDA FORESTAL EN % CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE CADA SUBCUENCA</b>	<b>PÉRDIDA FORESTAL EN % CON RESPECTO A LA SUPERFICIE TOTAL DE LA CUENCA</b>
Río Obispo	102,342	44,275	43.3	1.0
San Juan Evangelista	1,034,296	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
<b>SUBTOTAL DE LAS SUBCUENCAS MARGEN DERECHA</b>	<b>1,843,053</b>	<b>544,376</b>	<b>29.5</b>	<b>12.3</b>
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
<b>SUBTOTAL DE LAS SUBCUENCAS MARGEN IZQUIERDA</b>	<b>2,577,038</b>	<b>389,565</b>	<b>16.0</b>	<b>8.9</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,420,091</b>	<b>933,941</b>		<b>21.2</b>

Tabla 10. Pérdida forestal con respecto al área total de la cuenca y de cada subcuenca para el periodo comprendido entre 1973-1993

El tercer sitio es ocupado por la subcuenca del Río Tesechoacán, que presentó una pérdida del 20.6 % de áreas forestales (123, 934 ha), las que también se sumaron al uso agropecuario. La distribución de las áreas deforestadas es como la presentada por el Río San Juan Evangelista.

La subcuenca del Río Blanco ocupa el cuarto lugar de superficie forestal pérdida, presentando un 19.5 % (44, 973 ha) en relación con la superficie de la subcuenca, dicha vegetación cedió su lugar al uso agropecuario. 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 presenta manchones dispersos en el curso medio y en el curso alto de la subcuenca principalmente.

Las subcuencas de los Ríos Tonto y Santo Domingo presentan un porcentaje de pérdida forestal muy similar de un 16.6 % (86, 710) 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 presentan el mismo patrón que aparece para la subcuenca del Río Blanco, pero para el caso de la subcuenca de Río Santo Domingo muestra manchones pequeños en el curso medio, mientras para el curso alto se tienen extensiones más grandes de áreas deforestadas.

El séptimo sitio es la subcuenca del Río Valle Nacional presenta un 15.8 % (21, 996 ha) de pérdida forestal es la cuenca que conserva un mayor porcentaje de cubierta forestal. La distribución de deforestación en esta subcuenca es muy singular ya que se presenta a lo largo y paralela del curso fluvial.

Y el último sitio lo ocupa la subcuenca de las llanuras del Papaloapan con una superficie forestal modificada de 8.2 % (42, 838 ha) de áreas forestales pérdidas para el mismo periodo, las que fueron reemplazadas igualmente por usos agropecuarios. Sin embargo el resultado en esta subcuenca no significa que se encuentre en buen estado la vegetación original, sino que la vegetación original fue modificada antes del año 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 escurrimientos para las subcuencas de la margen derecha, será diferente al de las subcuencas de margen izquierda.

Las subcuencas de la margen izquierda están conformadas 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); y 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 el aumento del caudal y de sedimentos que muestran los cursos fluviales cuando es modificada la cubierta vegetal, no es apreciado porque los escurrimientos se encuentran regulados y los sedimentos retenidos por las presas.

Las subcuencas de la margen derecha del Río Papaloapan no cuentan con ninguna presa, es en ellas donde se manifiesta el incremento del caudal como se vio 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.

Según información topobatimétrica efectuada en 1996 mostró que los Río Obispo, Tesechoacán y San Juan presentan un asolvamiento de grandes cantidades de sedimentos en su confluencia con el Río Papaloapan. Teniendo una elevación de cauce en el caso del Río Obispo de 4 m, para el Tesechoacán la formación de una isla, 400 m aguas abajo de la zona de descarga y para el San Juan una elevación de 7 mts. (Morales, 1997).

La gran acumulación de sedimentos se presenta solamente en la zona donde confluyen cada una corrientes descritas anteriormente, las cuales forman parte de las subcuencas de la margen derecha del Papaloapan, en donde se observó que fueron estas mismas subcuencas las que presentaron mayores cambios en la cobertura vegetal.

Pero aún cuando las tendencias de los gastos hidrométricos para las subcuencas de la margen izquierda, no muestren el aumento en los caudales debido a la regulación de los escurrimientos por las presas; es factible concluir que aún sin la presencia de las presas, las subcuencas de la porción de la margen derecha presentarían mayor aumento en los caudales fluviales en comparación de las subcuencas de la margen izquierda por las siguientes razones:

a) Las subcuencas de la margen derecha presentan un mayor porcentaje de pérdida en la cobertura forestal para el periodo entre 1973 y 1993, pues en total registran un 29.5 % de áreas forestales pérdidas con respecto a su superficie total, mientras que las subcuencas de la margen izquierda mantiene un 16 % de pérdida forestal para el mismo periodo de tiempo y en relación con la superficie total para dichas subcuencas. (ver tabla 10).

b) Por otro lado también se debe mencionar que la superficie de áreas forestales pérdidas en hectáreas, para las subcuencas de la margen derecha presentaron 544,376 ha pérdidas, cuando la superficie total de ésta es de 1,843,053 ha, mientras las subcuencas de la margen izquierda suman 389,565 ha de áreas forestales devastadas, las subcuencas de esta margen cuentan con superficie de 2,577,038 ha (Tabla 10) (Figura 58).

#### IV.3.2 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.

La elaboración del mapa de pendientes se lleva a cabo en toda la cuenca del Río Papaloapan, porque las características de este factor en la porción alta de la cuenca tienen repercusiones río abajo.

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.

Por otro lado el grado de la pendiente en combinación con la cantidad de la precipitación y el tipo y/o ausencia de cobertura vegetal determinan la magnitud de las inundaciones.

Para la cuenca del Río Papaloapan según información de la Comisión del Papaloapan (1970) de los 46, 517 km<sup>2</sup> con que cuenta la cuenca; 21, 000 Km<sup>2</sup> (45%) corresponden a terrenos planos y ondulados de la planicie costera veracruzana y 25, 000 Km<sup>2</sup> (54%) los constituyen terrenos montañosos y quebrados de las sierras.

Kravtsova y Nikolaevskaya (tomado de Lugo, 1988) proponen los siguientes intervalos (en grados) para cartas de pendientes aplicadas a cuestiones agrícolas: hasta 1.5°, 1.5 - 3°, 3 - 6°, 6 -12°, 12-20°, 20-45°, >45°. Las superficies de inclinación menor a 1.5° prácticamente no son afectadas por el escurrimiento. Entre 1.5 y 3° empieza a manifestarse un débil escurrimiento por lo que el trabajo de la tierra exige tomar medidas preventivas contra la erosión. Entre 3 y 6° la erosión fluvial puede ser intensa en las laderas expuestas al sur. De 6 a 12° se presentan suelos alterados en grado medio a fuerte por el escurrimiento. En este caso es indispensable observar cuidadosamente técnicas agrícolas para protegerlos. Las superficies de 12° a 20° son desfavorables para algunos cultivos, los especialistas deben recomendar el uso adecuado de estos terrenos. En pendientes mayores no se trabajan los suelos, su uso es forestal.

El mapa de pendientes (Figura 59) se elaboró con base en los modelos digitales de terreno (MDT), los cuales proporcionan la información en formato raster de la altura del relieve sobre el nivel del mar. Esos datos posteriormente fueron interpolados y mediante el software de arc/info se elabora el mapa de pendientes, considerando los siguientes rangos:

RANGO DE PENDIENTE	SUPERFICIE EN KM <sup>2</sup>	PORCENTAJE
<0.5°	11,177	24.5
0.5- 1.5°	5,824	12.8
1.5- 3°	4,100	9.0
3-6°	3,979	8.7
6-10°	3,670	8.0
10-20°	9,032	19.8
20-30°	5,769	12.6
>30°	2,069	4.5
<b>TOTAL</b>	<b>45,620</b>	<b>100</b>

Tabla 11. Valores de los rangos de pendientes en superficie y en porcentaje para la cuenca

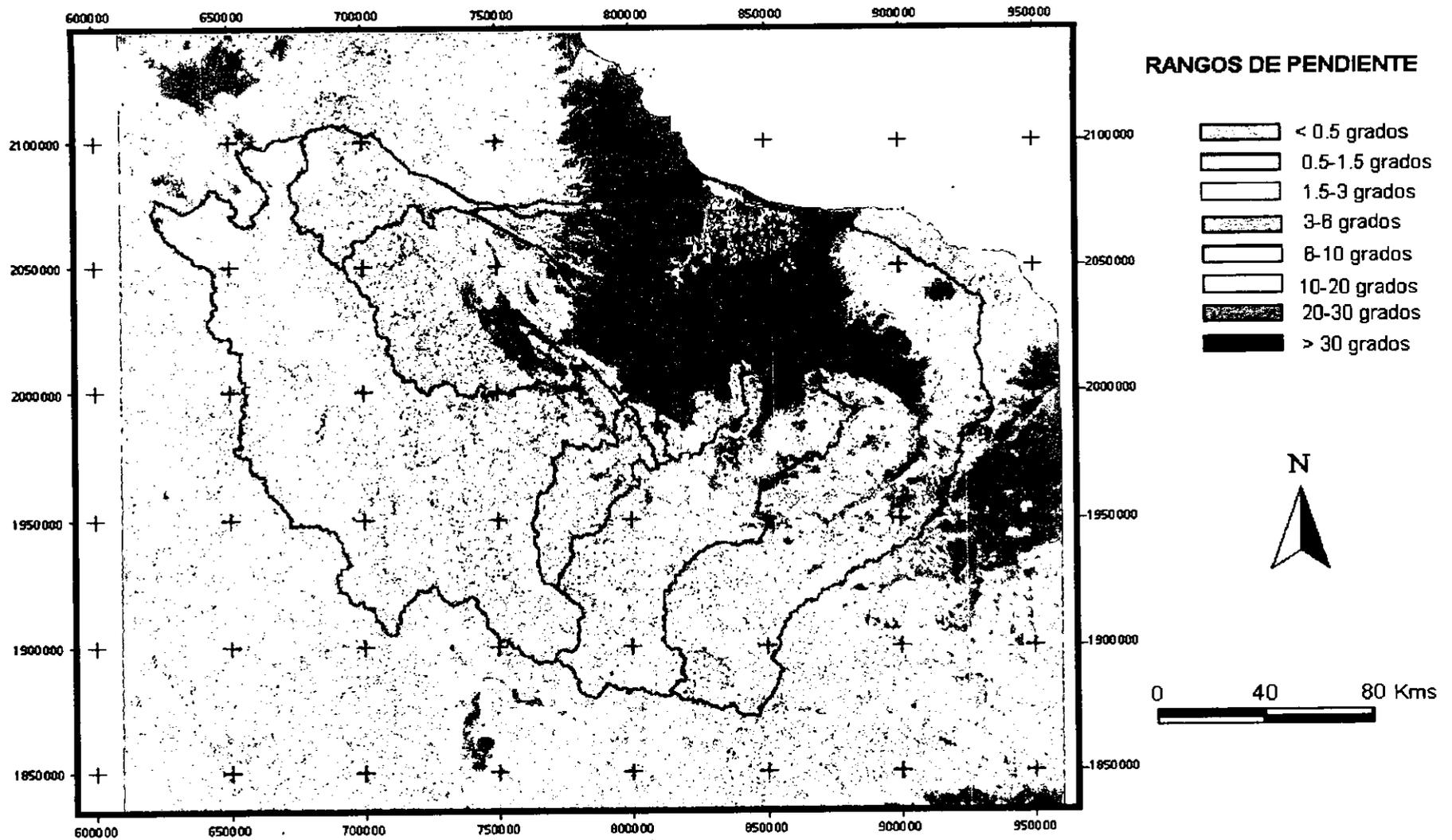


Figura 59. Mapa de pendientes de la cuenca del Río Papaloapan

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°, dividimos 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 siguiente tabla 12.

	Río Valle Nacional	Río Santo Domingo	Río Blanco	Río Tonto	Río Tesechoacan	Río San Juan	Río Obispo	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
<b>SUBTOTAL</b>	<b>19.8</b>	<b>31.4</b>	<b>44.0</b>	<b>47.8</b>	<b>50.6</b>	<b>74.5</b>	<b>98.6</b>	<b>99.2</b>
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
<b>SUBTOTAL</b>	<b>80.2</b>	<b>68.7</b>	<b>56.0</b>	<b>52.3</b>	<b>49.5</b>	<b>25.6</b>	<b>1.4</b>	<b>0.9</b>

Tabla 12. Valores en porcentaje de las pendientes menores y mayores a 6° para cada una de las subcuencas.

Las subcuencas de los Ríos Valle Nacional y Santo Domingo presentan 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, de los Ríos Obispo y San Juan presentan porcentajes en 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 con valores por arriba de los 6°, estas subcuencas al parecer mantienen una proporción cercana a la mitad entre las superficies mayores y menores de 6°.

No obstante el análisis anterior debe también considerar la superficie en kilómetros cuadrados, ya que el porcentaje con pendientes mayores a 6° puede ser alto en referencia a su área total para cada subcuenca; como es el caso del Río Valle nacional que representa un 80.2%, pero ese porcentaje corresponde a 1, 116 km<sup>2</sup>, que en comparación con la subcuenca del Río San Juan donde el porcentaje de áreas con valores de pendiente mayores de 6° sólo es de 25.6 %, pero representa una superficie de 2, 736 km<sup>2</sup>, más del doble de área que la subcuenca del Río Valle Nacional (ver tabla 13).

	Río Blanco	Río Tonto	Río Santo Domingo	Río Valle Nacional	Río Obispo	Río Tesechoacán	Río San Juan	Llanuras Papaloapan
<b>Pend</b>	<b>en km2</b>							
< 0.5 °	253	1191	292	66	618	1244	3169	4344
0.5 - 1.5 °	226	631	943	66	258	909	2369	422
1.5 - 3 °	277	335	1321	57	104	524	1408	74
3 - 6 °	258	344	1844	85	31	367	1025	25
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1013</b>	<b>2501</b>	<b>4400</b>	<b>275</b>	<b>1010</b>	<b>3043</b>	<b>7971</b>	<b>4864</b>
6 - 10 °	249	422	1867	126	6	345	644	11
10 - 20 °	553	1224	4418	448	5	1234	1131	19
20 - 30 °	337	756	2523	390	2	1023	729	9
> 30 °	151	335	825	152	1	370	232	3
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1290</b>	<b>2736</b>	<b>9633</b>	<b>1116</b>	<b>14</b>	<b>2972</b>	<b>2736</b>	<b>41</b>

Tabla 13. Distribución de la superficie en km<sup>2</sup> por rangos de pendiente para cada subcuenca.

#### IV.3.3 Relaciones entre la modificación de la cubierta forestal y la pendiente.

La caracterización de la relación entre cambios en la cubierta vegetal y pendientes se llevó a cabo mediante la sobreposición de dos coberturas: 1) pendientes y 2) modificaciones de la cubierta vegetal; dividiendo la primera en dos grupos de pendientes. El primer grupo corresponde a las pendientes menores a 6° y el segundo a aquellas áreas mayores a 6°.

La agrupación de los rangos de pendientes se consideró tomando como referencia estudios de erosión en donde se señala que los escurrimientos acarrearán una erosión media a alta a partir de los 6° de pendiente (Kravtsova y Nikolaevskaya, tomado de Lugo, 1988).

La cobertura de cambio de la cubierta forestal en el periodo de 1973-1993, presenta tres grupos: 1) vegetación forestal conservada, 2) vegetación deforestada, y 3) vegetación no forestal; en esta última clase quedan dentro: 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 sobreposición de las coberturas muestra las áreas deforestadas correspondientes a pendiente menores y mayores a 6° para cada una de las subcuencas (Tabla 14).

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 presenta la mayor superficie deforestada sobre pendientes menores a 6°, siendo ejemplo de ello las subcuencas de los Ríos Obispo, Río San Juan Evangelista, Tesechoacán, Llanuras del Papaloapan y hasta en la de Valle Nacional donde las superficies menores a 6°, representan sólo el 20% de la superficie total de dicha subcuenca.

SUBCUENCA	ESTADO DE LA VEGETACIÓN	PENDIENTES	Sup (ha)
<b>Río Obispo</b>	Conservado	Inf. a 6°	7, 515
	Conservado	Sup. a 6°	757
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>45, 995</b>
	<b>Deforestado</b>	Sup. a 6°	<b>67</b>
	no forestal	Inf. a 6°	48, 008
<b>Río San Juan</b>	Conservado	Inf. a 6°	78, 677
	Conservado	Sup. a 6°	217, 454
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>334, 824</b>
	<b>Deforestado</b>	Sup. a 6	<b>19, 749</b>
	no forestal	Inf. a 6°	383, 592
<b>Río Tesechoacán</b>	no forestal	Sup. a 6°	41, 317
	Conservado	Inf. a 6°	67, 856
	Conservado	sup. a 6°	265, 958
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>110, 997</b>
	<b>Deforestado</b>	sup. a 6°	<b>12, 992</b>
<b>Llanuras del Papaloapan</b>	no forestal	Inf. a 6°	109, 550
	no forestal	sup. a 6°	34, 188
	Conservado	Inf. a 6°	15, 720
	Conservado	Sup. a 6°	3, 555
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>42, 320</b>
<b>Río Valle Nacional</b>	<b>Deforestado</b>	Sup. a 6°	<b>519</b>
	No forestal	Inf. a 6°	459, 054
	Conservado	Inf. a 6°	6, 892
	Conservado	sup. a 6°	110, 133
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>13, 106</b>
<b>Río Blanco</b>	<b>Deforestado</b>	sup. a 6°	<b>8, 889</b>
	no forestal	Inf. a 6°	39
	Conservado	Inf. a 6°	8, 694
	Conservado	Sup. a 6°	84, 359
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>9, 711</b>
<b>Río Tonto</b>	<b>Deforestado</b>	Sup. a 6°	<b>35, 264</b>
	no forestal	Inf. a 6°	72, 659
	no forestal	Sup. a 6°	19, 589
	Conservado	Inf. a 6°	36, 385
	Conservado	sup. a 6°	224, 222
<b>Río Santo Domingo</b>	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>38, 416</b>
	<b>Deforestado</b>	sup. a 6°	<b>48, 291</b>
	no forestal	Inf. a 6°	150, 182
	no forestal	sup. a 6°	26, 256
	Conservado	Inf. a 6°	121, 989
<b>TOTAL</b>	Conservado	sup. a 6°	835, 782
	<b>Deforestado</b>	Inf. a 6°	<b>80, 008</b>
	<b>Deforestado</b>	sup. a 6°	<b>151, 695</b>
	no forestal	Inf. a 6°	158, 215
	no forestal	sup. a 6°	55, 606
<b>TOTAL</b>			<b>4, 597, 046</b>

Tabla 14. Valores de la sobreposición de la información de pendientes y deforestación durante el periodo de 1973-1993.

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 en porcentaje 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, la del Río Obispo, la del Río San Juan y Río Tesechoacán las que presentan un porcentaje de 99.2%, 98.6%, 74.5% y 50.6% respectivamente con superficies menores a 6° de pendiente. Es decir que en todas ellas por lo menos la mitad la subcuenca mantiene áreas llanas en donde la cubierta vegetal ha sido modificada casi por completo.

La figura 80 muestra para las cuencas de los ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista que para el periodo de 1973-1993 la deforestación en las zonas menores de 6° fue devastadora. Se logra ver en la figura una franja de 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.

En lo que respecta a superficie deforestada en el periodo de 1973 a 1993 en pendientes menores a 6° por subcuenca, el 1er. lugar lo ocupa el Río San Juan con 334, 824 ha, 2do. Río Tesechoacán 110, 997 ha, 3ro. Río Obispo con 45, 995 h, 4to. Las llanuras del Papaloapan con 42, 320 ha y por último el 5to. 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°.

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 el año de 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 periodo de 1973-1993, en áreas con pendientes mayores a 6°, son las subcuencas de los ríos Santo Domingo, Río Tonto y Río Blanco. En el caso de la primera casi el doble de la superficie deforestada con respecto a las áreas forestales pérdidas con pendiente menor a 6°, y hasta de casi cuatro veces más en este mismo sentido, en el caso de la subcuenca del Río Blanco.

La superficie deforestada con pendientes mayores de 6° en 1973-93 es de 151, 695 ha para el Río Santo Domingo, 48, 291 ha para el Río Tonto y de 35, 265 ha para el Río Blanco, en los tres casos la deforestación se presenta en forma de manchones dispersos a lo largo de los cursos medios y altos.

También debe mencionarse que a pesar de que la subcuenca del Río Blanco presenta deforestación en pendientes mayores a 6°, los gastos máximos anuales no manifiestan incremento alguno.

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 Rios San Juan, Tesechoacán, Obispo y las llanuras del Papaloapan se conjugan en todas ellas, la pérdida de grandes superficies forestales con un patrón de deforestación que dibuja una cobertura desnuda uniforme 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 posiblemente no genere un incremento de gran magnitud en el escurrimiento, como ocurre en la subcuenca de Río Blanco.

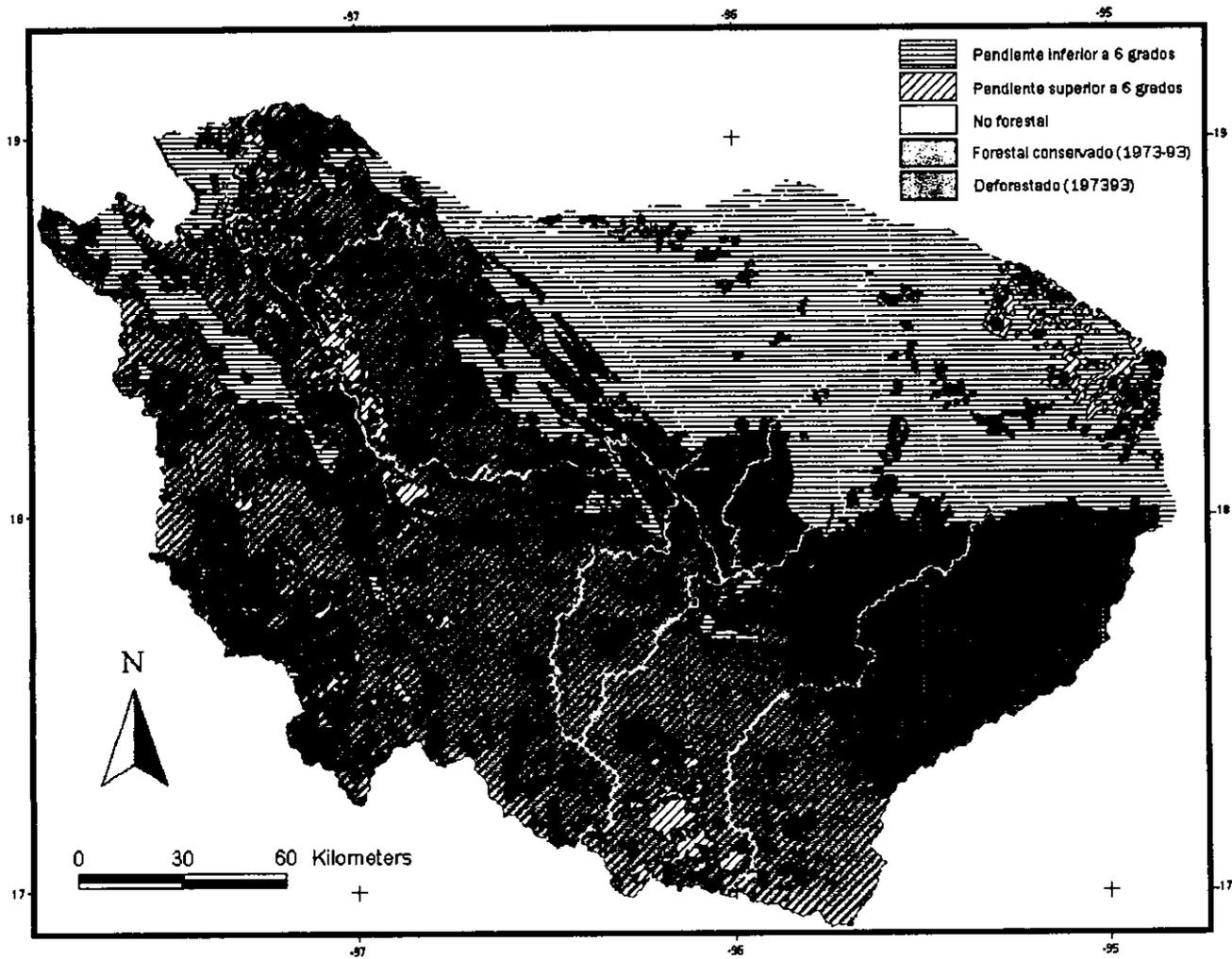


Figura 60. Sobre posición de la información del cambio de la cubierta vegetal y de las pendientes mayores y menores a 6°.

#### IV.4 UNIDADES NATURALES

La comprensión del desarrollo de las inundaciones requiere del estudio de los paisajes en donde se presenta el problema. Para ello es importante conocer las características naturales del medio en que se presenta, lo cual es posible mediante el análisis y determinación de lo que es llamado unidades naturales. Estas unidades suponen homogeneidad interna con respecto a ciertas variables ambientales tales como tipo de sustrato (geología), suelo (edafología), forma del relieve (geomorfología), vegetación y uso del suelo entre otros (Bocco y Ortiz, 1994)

Las unidades naturales expresan las características o atributos que presentan ciertas áreas, diferenciado así espacios con mayor o menor riesgo de ser inundados, y también ayudan en el pronóstico sobre la respuesta que puedan tener estas mismas unidades, en caso de ser inundadas.

Este trabajo considera para la delimitación de las unidades naturales tres variables: Las características 1) geomorfológicas, 2) edafológicas y 3) de vegetación y uso del suelo.

##### IV.4.1 Geomorfología

Se identificaron las características de las formas del relieve en la llanura de inundación del Río Papaloapan a partir de la interpretación de fotografías aéreas escala 1:70 000 (INEGI 1972), de datos bibliográficos disponibles para la región y de la información obtenida en trabajo de campo; todo ello, con el fin de entender el comportamiento de las formas del relieve ante la presencia de procesos de inundación.

Uno de los principales factores que determinan la extensión de las llanuras aluviales es la magnitud de la cuenca de captación. En términos generales, a medida que el área de drenaje es más grande, mayor es la descarga fluvial y de sedimentos, lo que da lugar a una mayor área deltáica o fluvial (Coleman y Roberts, tomado de Ortiz, 1996)

Las características morfológicas superficiales del relieve en la llanura baja del Río Papaloapan, presentan su origen en la acumulación del material fluvial, acarreado por el Río Papaloapan y sus afluentes, los cuales bajan de los ocho bloques que conforman la cuenca del Papaloapan, 1) el bloque volcánico Xalapa; 2) la Faja Neovolcánica Transmexicana, 3) el macizo volcánico de los Tuxtlas, 4) la Sierra Madre Oriental y las sierras de Oaxaca, 5) Cuicateca, 6) Mixe, 7) Nochistlán y 8) Tamazulapa.

La llanura baja del Río Papaloapan es una llanura de acumulación de material fluvial depositada por los ríos, los cuales a lo largo del tiempo han colmatado sus canales de salida hacia el mar. Debido a la gran carga de sedimentos, estos últimos obstruyen el desagüe y permiten el desarrollo de procesos de inundación.

La acumulación de material fluvial depositado por el Papaloapan y sus afluentes ha desarrollado y formado una extensa llanura fluvial, que consta de dos porciones principales la *llanura fluvial alta (albardones)* y la *llanura fluvial baja*.

### LLANURA FLUVIAL ALTA

La llanura fluvial alta se ubica a lo largo de las corrientes principales. Se forma durante las grandes crecidas, por la acreción vertical de sedimentos que se depositan en los bordes del cauce en formas de diques o albardones (Figura 61)

Este fenómeno ocurre durante las avenidas excepcionales del río, cuando el agua sube de nivel por arriba del canal principal y la carga de sedimentos fluviales inunda la planicie adyacente. La acreción vertical se repite cada que ocurre una inundación, de manera que los albardones se vuelven más altos y anchos y el piso del canal sube de nivel hasta sobrepasar el de la llanura adyacente (Ortiz, 1996)

El desarrollo de los albardones a lo largo del tiempo constituye una llanura más alta que el resto de la llanura fluvial y se encuentra principalmente constituida por sedimentos de limo (Figura 61)

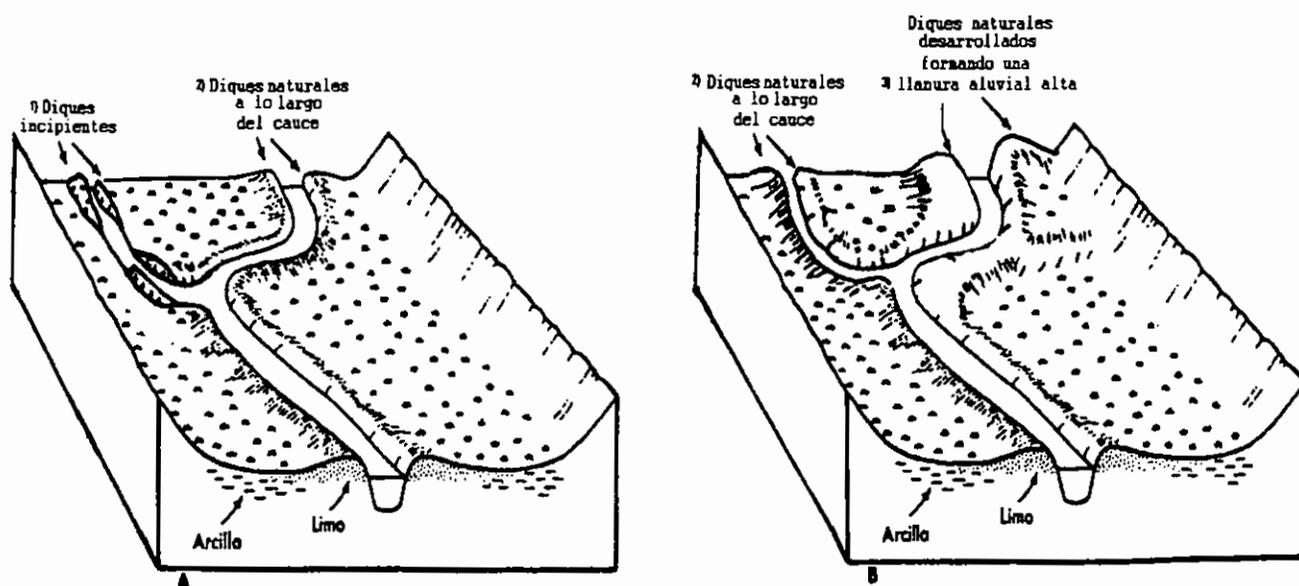


Figura 61. Evolución de las llanuras altas 1) diques incipientes 2) diques naturales a lo largo del cauce y 3) llanura aluvial alta.

En la llanura fluvial del Papaloapan se pueden distinguir tres fases de evolución y desarrollo de llanuras fluviales altas. La primera es una llanura fluvial alta representada por diques o albardones incipientes de superficie menor en comparación con los dos anteriores, pero éstas se encuentran aisladas y no constituyen un corredor paralelo a lo largo de la margen fluvial, este es el caso del Río San Juan (Fig. 61 A).

El segundo tipo es una llanura fluvial alta que se extiende en forma de diques naturales a lo largo del curso de la corriente fluvial, tal es el caso de Río Tesechoacán (Figura 61 A y 62)

Y la tercera y más desarrollada la constituye una superficie homogénea y de mayor extensión (Figura 61, B). Corresponde a la llanura fluvial alta de la margen del Río Papaloapan, la cual alcanza mayor superficie sobre todo en su margen izquierda. Esta

llanura se extiende desde las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y termina aproximadamente en la confluencia del Río Papaloapan y Tesechoacán, donde posteriormente se extiende aguas abajo hasta el poblado de Tlacotalpan como un corredor a lo largo de las márgenes del río. El Río Obispo también desarrolló una llanura fluvial alta la cual se une a la del Río Papaloapan.



**Figura 62. Albardones en la margen izquierda del Río Tesechoacán.**

Las llanuras fluviales altas protegen a las llanuras bajas de los procesos de inundación, cuando las corrientes fluviales descargan gastos o avenidas ordinarias, pero cuando el caudal de los ríos rebasa los albardones o diques, estas llanuras altas son las primeras en inundarse.

#### LA LLANURA FLUVIAL BAJA

La llanura fluvial baja, como su nombre lo indica, representa las porciones más bajas de la llanura fluvial. En ella también se presentan cursos de corrientes que la surcan, pero con la característica de que la corriente fluvial no ha desarrollado albardones, o se encuentran en estado incipiente de desarrollo. Es el caso de los Ríos Limón, la mayor parte del recorrido del Río Acula y el curso bajo del Río San Juan y Río Tecomate (Figura 63)

Es probable que los sedimentos de las llanuras fluviales bajas, sean materiales finos constituidos principalmente por arcilla, ya que cuando se producen las grandes inundaciones, la energía de la corriente de desborde sólo es capaz de transportar a estas áreas las partículas más finas como lo son las arcillas (Figura 61)

En la zona de estudio se distinguen dos tipos de llanuras fluviales bajas, las que son afectadas por inundaciones de agua dulce y las que se encuentran principalmente influenciadas por agua salobre, aunque cabe señalar que éstas últimas no quedan

exentas de ser inundadas también por aportaciones de agua dulce cuando se presentan las grandes avenidas fluviales.



Figura 63. Margen fluvial del Río Limón en la localidad de Los Cántaros.

Las llanuras fluviales bajas con influencia de agua dulce se dividen en tres tipos y se determinan, en función del tiempo de permanencia del agua; ya que esto implica que entre las llanuras bajas unas son más bajas que otras.

Los tres tipos de llanuras bajas son: 1) las llanuras fluviales bajas inundadas sólo en época de lluvias o durante las grandes avenidas, 2) las áreas en donde el agua permanece la mayor parte del año, ambos tipos 1) y 2) son agrupados en el término de llanuras fluviales bajas. Y 3) son las llanuras bajas que presentan saturación de agua todo el año y se les denomina llanuras palustres (Figura 68)

Las *llanuras fluviales bajas* se localizan adyacentes a los albardones de los ríos Tesechoacán y San Juan, distribuidas en la gran llanura baja de la margen derecha del Papaloapan, algunas de ellas, en especial las llanuras bajas cercanas a la confluencia entre el Papaloapan y el San Juan se encuentran inundadas en la mayor parte del año (Figura 68)

Las llanuras fluviales bajas que presentan agua durante todo el año (palustres), se localizan en las partes bajas de las dunas costeras de la porción oriental de la zona de estudio, constituyen superficies reducidas.

La mayor extensión de las llanuras palustres se encuentra en la parte occidental, adyacente a las llanuras lagunares. Las llanuras palustres se extienden aguas arriba del

Río Limón hasta llegar a las llanuras fluviales bajas en la localidad de Chalpa (Figura 68). También una porción importante se localiza al norte de la población de Ignacio La Llave.

Las llanuras bajas con influencia marina (agua salobre), mantienen numerosos cuerpos de agua. Son llanuras que en las márgenes de los ríos no presentan la formación ni siquiera incipiente de albardones y el nivel de los ríos se encuentra a la par de la llanura (Figura 66), se les denomina a estas llanuras lagunares (Figura 68)

Las *llanuras lagunares* se ubican colindantes a las márgenes de la laguna de Alvarado y constituyen la parte más baja de la margen izquierda del Papaloapan, en donde la penetración de la cuña salina se hace presente hasta 25 Km tierra adentro (Figura 68)

Las llanuras bajas como se mencionó anteriormente, están resguardadas de las inundaciones durante las avenidas ordinarias, pero cuando los ríos se desbordan, son las que sufren de forma más severa las inundaciones, ya que debido a la morfología que presentan, al ser áreas deprimidas almacenan el agua durante más tiempo. Además el agua que produce la inundación no sólo proviene de las corrientes que surcan la llanura baja, sino también de los cursos fluviales que corren sobre la llanura alta, los cuales ya no regresan a su cauce original.

La acumulación de potentes sedimentos en la llanura fluvial alta y baja, produce la elevación o a la obstaculización de la corriente. Al colmatarse o taponarse los canales, las corrientes se ven obligadas a buscar otras vías de salida desplazándose y creando nuevos cursos fluviales.

Los testigos de tales desplazamientos lo forman los rastros de antiguos cauces y meandros abandonados que temporalmente se inundan en el periodo de lluvias o crecidas, pues el drenaje es generalmente muy deficiente y la red fluvial adyacente al río se encuentra desorganizada por la falta de integración con el mismo (Ortiz, 1979)

La trayectoria final del Río Papaloapan sobre la llanura fluvial termina con la desembocadura de sus aguas hacia la laguna costera de Alvarado, la cual se encuentra protegida del mar abierto por grandes dunas costeras que alcanzan hasta 100 m de altura (Figura 64), las cuales son una barrera natural contra la erosión marina y en donde los procesos de inundación no se presentan.

La porción oriental a la llanura fluvial de la zona de estudio, está constituida por la gradual elevación del piedemonte y lomeríos del macizo volcánico de los Tuxtlas en donde las corrientes fluviales bajan conducidas por barrancos que canalizan los escurrimientos en los talwegs de los ríos y en donde las inundaciones se presentan tan sólo en las pequeñas llanuras fluviales adyacentes a las corrientes.



Figura 64. Dunas de arena que protegen la laguna costera de Alvarado.

#### IV.4.2 Vegetación

La distribución de la vegetación se encuentra determinada por las pequeñas diferencias altitudinales que implican variaciones de humedad y por tanto mantienen diferentes tipos de uso del suelo y vegetación para la zona de estudio.

La llanura de inundación del Río Papaloapan en lo que respecta al uso del suelo y vegetación ha sufrido cambios desde 1860 cuando los colonizadores españoles introdujeron el cultivo de algodón en Valle Nacional, Tuxtepec y Playa Vicente, el cual bajaba por río, para ser embarcado en Tlacotalpan. De ahí siguieron otros cultivos de plantación como: el café, tabaco y la caña de azúcar. Esta última prosperó sobre los demás, con la creación del ingenio azucarero de San Cristóbal, el más importante del país, el cual se encontraba en manos de empresas particulares y fue nacionalizado en 1970 (Marchal y Palma, 1985)

El gran desarrollo y expansión de la caña de azúcar ocurrió después de la construcción de la presa Miguel Alemán, la cual permitió utilizar nuevas tierras a lo largo del Río Papaloapan desde 1950 (Marchal y Palma, 1985). Actualmente todo suelo que proporcione un drenaje más o menos eficiente es utilizado para la agricultura de temporal; y es así, como el uso del suelo y la distribución de la vegetación en la zona de estudio, dependen de la morfología que presenta la llanura de inundación del bajo Papaloapan.

Las tierras agrícolas de caña de azúcar, maíz y frijol coinciden con las porciones ligeramente más altas (albardones) de la llanura fluvial. La agricultura de temporal se sitúa en ambos márgenes del Río Papaloapan hasta la localidad de Carlos A. Carrillo. También encontramos cultivos de temporal en toda la llanura fluvial alta, que corre paralela al curso del Río Tesechoacán (Figura 65)

La vegetación original de la llanura alta de la margen izquierda del Papaloapan la encontramos en pequeñas depresiones inmersas dentro de la llanura alta, que mantiene un drenaje deficiente y condiciones de inundación en periodos largos. En estas áreas se establece una vegetación remanente de selva alta, que ha sido conservada aunque en un estado muy deteriorado.



**Figura 65. Tierras agrícolas con cultivos de caña de azúcar en la llanura alta del Río Tesechoacán**

En la llanura fluvial baja se establecieron pastizales cultivados, principalmente en la margen derecha del Río Papaloapan, y en la margen izquierda aguas abajo de la población de Tlacotalpan (Figura 68).

Las porciones inundadas durante la mayor parte del año presentan una vegetación de Tular, lo que implica que esta llanura es más baja que la llanura en donde se cultivan pastos. La llanura con vegetación de tular se distribuye dentro de la llanura con pastos. La vegetación de tular se desarrolla en lugares más o menos o francamente pantanosos, son agrupaciones densas de plantas herbáceas enraizadas en el fondo (Miranda y Hernández, 1963)

En la porción de la llanura baja cercana y adyacente a la laguna de Alvarado encontramos vegetación de popal-tular y de manglar respectivamente (Figura 66). La llanura de popal-tular debido a las condiciones en las que se desarrolla debe corresponder a una zona más baja en comparación a la llanura con vegetación de tular.

La vegetación de popal-tular (llanura palustre) crece en lugares pantanosos con agua permanente de alrededor de un metro de profundidad. Las plantas que componen el popal viven enraizadas en el fondo, pero tiene grandes hojas largas y anchas, que

sobresalen del agua; y crecen tan densamente que el agua apenas es visible (Miranda y Hernández, 1963)

El mapa de la distribución de la vegetación fue obtenida también mediante la interpretación de la fotografías aéreas escala 1: 70,000 (1972), y fue de gran ayuda para establecer las formas del relieve establecidas anteriormente.



Figura 66. Vegetación de manglar en la desembocadura del Río Acula hacia la laguna de Alvarado

#### IV.4.3 Edafología

La información de suelos utilizada en este trabajo es tomada de la carta edafológica 1:250 000 de INEGI (1972). La escala es muy pequeña para los fines del presente trabajo, pero no se cuenta con otra información para la zona. Dicha información desprende la delimitación espacial de los tipos de suelo según la clasificación FAO-UNESCO, además de la descripción en campo de 15 perfiles de suelo dentro de la zona de estudio (área con problemas de inundación). En 5 de los 15 pozos se realizaron análisis físicos y químicos, de los cuales se toma en cuenta el análisis de textura, debido a la importancia que esta característica tiene para los procesos de infiltración del agua en el suelo y la impermeabilidad que las partículas de arcilla muestran, lo que favorece el desarrollo de los procesos de inundación.

El análisis espacial de los suelos se hace con base en la cartografía de los suelos dominantes y la descripción de los mismos abarca a las subunidades a las que se encuentran asociados.

La llanura baja del Río Papaloapan constituye una gran llanura fluvial, donde se acumula un alto contenido de humedad en el suelo, aportada por las corrientes fluviales, la acumulación del agua ocurre principalmente durante el periodo de lluvias para la mayoría

de las zonas. La aparición temporal del agua en el suelo responde a las características geomorfológicas de la zona de estudio.

La morfología conduce el desarrollo de diferentes tipos de suelos. En el área se presentan suelos tipo Gleysol, Vertisol, Feozem, Castañozem y Luvisol. Cuya distribución espaciales se describe a continuación.

### Suelos tipo Gleysol

Los suelos tipo gleysol como se mencionó en el marco geográfico general, son propios de sitios donde se estanca el agua. Presentan en la parte donde se saturan de agua, colores azulosos o verdosos, son poco susceptibles a la erosión, predomina la alteración química y por tal razón los suelos presentan un gran espesor y alto contenido de arcillas.

Los suelos de tipo gleysol cubren más de 70% de la zona de estudio, se desarrollan en lo que se llamó en la descripción de los rasgos geomorfológicos como las llanuras bajas tanto fluviales, palustres y lagunares, pero también encontramos suelos gleysol en las llanuras fluviales altas.

Los suelos gleysol en la zona de estudio muestran subunidades vérticas y éútricas, aunque cabe mencionar que las subunidades no están representadas espacialmente en el mapa, pero si se mencionarán los sitios donde se presentan.

Los suelos gleysol con subunidades vérticas corresponden a las llanuras bajas: fluviales, palustres y lagunares. Los suelos gleysol vérticos desarrollados en las llanuras fluviales bajas se ubican principalmente en la llanura de la margen derecha del Río Papaloapan donde cruzan los ríos Tesechoacán, San Juan y Tecomate y que en dirección hacia el norte llegan hasta las dunas costeras.

También encontramos suelos gleysol vérticos en la margen izquierda del Río Papaloapan aguas abajo de la localidad de Tlacotalpan y adyacentes a las márgenes de la laguna costera de Alvarado, donde penetra este tipo de suelo en la parte más ancha hasta 25 Km tierra adentro.

Las subunidades de los suelos gleysol éútricos se presentan en la llanura fluvial alta de la margen derecha del Papaloapan a la altura de la población Carlos A. Carrillo. Son suelos fértiles y no obstante ser suelos tipo gleysol, tienen un drenaje más eficiente en comparación con los gleysoles vérticos, los cuales no son tan fértiles y en los que además se presentan problemas de agrietamiento durante el periodo de estiaje.

Los suelos gleysol éútricos también los encontramos en las llanuras fluviales altas de la margen derecha del Río Papaloapan en la confluencia con el Río Tesechoacán, pero aguas arriba sobre está última corriente presenta según la información de INEGI, suelos gleysol con subunidades vérticas, iguales a las que mantienen las llanuras bajas. Es posible que la representación edafológica de la llanura fluvial alta de la margen del Río Tesechoacán, no sea acertada debido a la poca información existente, ya que para esa zona no se llevaron a cabo perfiles de suelos.

La representación de INEGI para los suelos tipo gleysol en la zona de estudio, está respaldada por la descripción en campo de 8 perfiles de suelos, de los cuales a 2 de ellos se les realizaron análisis de laboratorio. En la figura 67 los perfiles de estos suelos aparecen con los números 1 y 2.

La descripción del perfil de suelo 1, ubicado en la llanura que separa a los ríos San Juan y Tecamate, cercano a la localidad de Boca San Miguel, representa suelos tipo gleysol con subunidades vérticas. Los resultados arrojan que los suelos presentan una textura fina en los primeros 30 cms, con profundidad mayores a los 100 cms, con características diagnósticas gléyicas y con drenaje interno moderado. El análisis de textura muestra que de las 5 muestras de suelo obtenidas de este pozo, 4 de ellas tienen una textura arcillosa que rebasa el 40% con respecto a los limos y arenas, este porcentaje de arcilla se encuentra desde el horizonte A.

El pozo 2 se localiza en la margen derecha del Río Papaloapan cercano a la población de Carlos A. Carrillo y corresponde a suelos gleysol con subunidades éutricas. El suelo presenta también una textura fina y más de 100 cms de profundidad, pero de las 5 muestras sólo tres de ellas son de textura arcillosa mayor de 45%, y sólo se manifiesta en los horizontes inferiores.

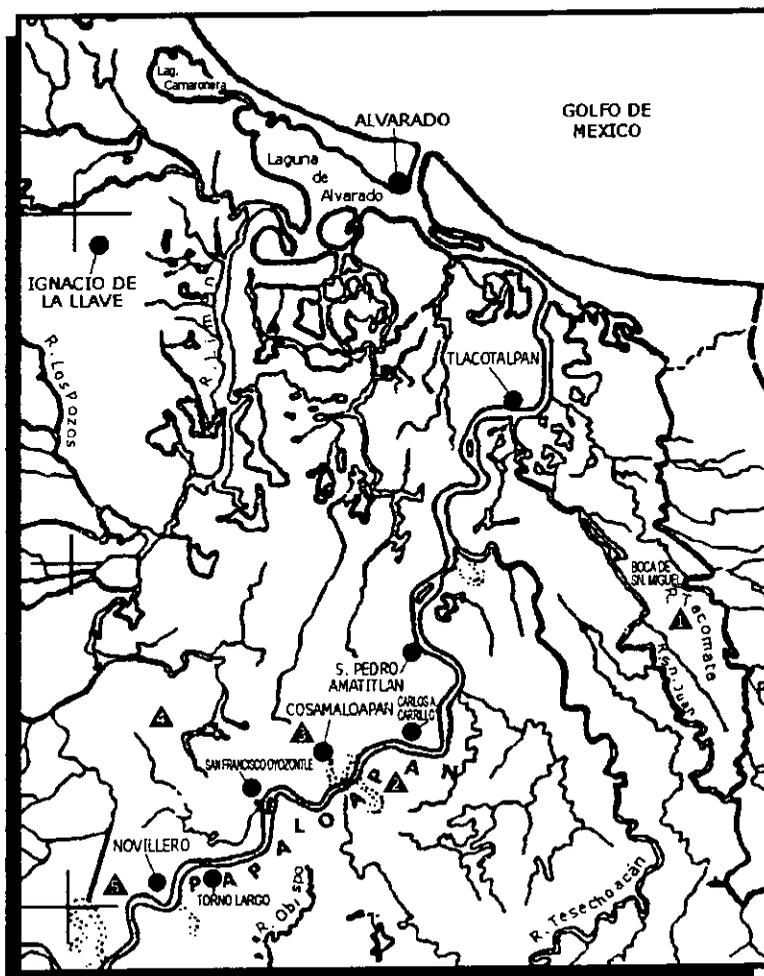


Figura 67. Ubicación de los perfiles de suelos descritos por el INEGI

### Suelos tipo Vertisol.

Los vertisoles se caracterizan por presentar grietas anchas y muy profundas, debido al alto contenido de arcilla expansiva. Se presentan en climas con una marcada estación seca y otra húmeda, en donde en la primera son demasiado pegajosos e impermeables y en la segunda son suelos duros.

Los suelos tipo vertisol en la zona de estudio se presentan con subunidades pélicas. Esto significa que mantienen coloraciones claras, es decir que tienen bajos contenidos de materia orgánica. Se encuentran representados en la zona de estudio principalmente en la margen izquierda del Río Papaloapan marcando el límite río abajo hasta la población de Carlos A. Carrillo, estas llanuras altas son las más desarrolladas y extensas, producto de la depositación de sedimentos en los continuos desbordes del Río Papaloapan.

Los suelos vertisoles también se presentan en las llanuras altas adyacentes al lago el Plan, pero son de dimensiones reducidas en comparación con los vertisoles de la margen izquierda del Papaloapan.

En la zona de estudio los suelos vertisoles pélicos muestran profundidades en el suelo que rebasan los 100 cm, la textura de los 30 cm superficiales es fina, y no tienen un horizonte diagnóstico. Muestran un drenaje interno moderadamente drenado a bien drenado.

Para los suelos vertisoles pélicos se dispone de la descripción y análisis de laboratorio de dos pozos. El pozo 3 se localiza aproximadamente a 12 Km al oeste de la población de Cosamaloapan (Figura 67), el cual muestra un horizonte superficial con menos del 12% de arcilla y más del 50% de arena teniendo así una textura franco-arcillosa; mientras el horizonte B presenta 2 subhorizontes con más de 40% de arcilla mostrando una textura totalmente arcillosa y un horizonte C con una textura franco arcillosa pues muestra un porcentaje menor de 40% de arcilla.

El pozo 4 se ubica a 1 Km al norte de la localidad de Cosamaloapan (Figura 67). El perfil de suelo presenta en 3 de las 4 muestras, un porcentaje de arcilla mayor de 40%, pero también un importante porcentaje de limo mayor de 40%, teniendo así una textura arcillo-limosa desde el horizonte A al C y sólo un subhorizonte del horizonte C, el más profundo con arcilla menor al 40%, pero con más del 40% de limo manteniendo una textura franco-arcillo-limosa.

### Suelos tipo Feozem

Son suelos negros ricos en materia orgánica, son fértiles y la acumulación de arcilla disminuye conforme aumenta la profundidad. En la zona de estudio presentan subunidades lúvicas que se caracterizan por presentar una capa de acumulación de arcilla y procesos de lixiviación.

En la zona de estudio los suelos feozem se encuentran en las llanuras altas de la margen izquierda del Río Papaloapan, son dos porciones de suelos feozem, los cuales están separados por áreas de suelos tipo luvisol y vertisol. Los feozem son los suelos en donde termina la llanura alta en la porción más inferior de la margen izquierda del curso bajo del Río Papaloapan, en la que se establece la población de Tlacotalpan.

Y en la llanura de la margen derecha del Río Papaloapan, en lo que corresponde a la llanura fluvial alta de las márgenes del río San Juan, también encontramos suelos feozem con subunidades lúvicas.

Los suelos feozem a pesar de la importancia que revisten por las características edafológicas que presentan, no cuentan con análisis de laboratorio por parte de INEGI.

#### Suelos tipo Castañozem

Son suelos castaños, ricos en materia orgánica y nutrientes. Se caracterizan por la acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado. Los suelos castañozem en la zona de estudio muestran subunidades lúvicas es decir que son suelos que mantienen procesos de lixiviación y acumulación de arcillas.

Los suelos castañozem en la zona de estudio se encuentran alrededor de la población de Ignacio la Llave, en lo que corresponde a la llanura fluvial alta que se extiende en dirección al sur hasta 8 Km. Estos suelos a pesar de la importancia productiva, tampoco presentan análisis de suelos por parte de INEGI.

#### Suelos tipo Luvisol

Las características de los suelos luvisoles es que presentan un enriquecimiento de arcillas en el horizonte B y se caracterizan por tener procesos de lixiviación, es por ello que se les llama suelos lavados. En la zona de estudio los suelos luvisoles presentan subunidades gléyicas, lo que significa que cuentan con un horizonte que por lo menos en una época del año (lluvias) se encuentran saturados de agua.

Los suelos luvisol en la zona de estudio se encuentran en ambas llanuras altas de las márgenes del Río Papaloapan, principalmente en la margen izquierda que llega hasta la localidad de San Francisco Oyozontle y para la margen derecha con una menor trayectoria se termina la extensión de los suelos luvisol en la localidad de Torno largo.

Los suelos luvisol gléyicos cuentan con el análisis de laboratorio de un perfil de suelos, el cual aparece con el número 5, se localiza 1 Km al este de la localidad de Paraíso Novillero (Figura 67). Presenta una profundidad que rebasa los 100 cms, una textura fina en los primeros 30 cm superficiales, un drenaje interno moderado, con un total de 6 subhorizontes, el análisis de las 6 muestras arroja que para las dos primeras correspondientes al horizonte A, presentan un porcentaje de arcilla y limo mayor de 40%, teniendo con ello una textura arcillo-limosa y las 4 muestras restantes pertenecen a subhorizontes del horizonte B, todo ellos con menos de 40% de arcilla y más de 45% de limo por lo que resulta una textura franco-arcillo-limosa.

#### IV.4.4 Determinación de las unidades naturales

La determinación de las características de las unidades naturales, así como la delimitación espacial de las mismas, es el resultado de la sobreposición de los tres aspectos descritos anteriormente: geomorfología, uso del suelo y vegetación, edafología.

El análisis de las unidades naturales implica relacionar los aspectos: geomorfológicos, edafológicos y uso del suelo y vegetación, vinculando sus características para comprender el desarrollo de los procesos de inundación en la zona de estudio.

La relación de los tres aspectos es muy directa y realizando una observación general, observamos la aplicación de agricultura de temporal, sólo en las llanuras fluviales altas,

mientras que las llanuras bajas mantienen vegetación de pastizal cultivado y vegetación natural de tular, popal-tular y manglar (Figura 68).

Las características de los tres elementos dan como resultado 7 tipos de llanuras fluviales altas, 5 de ellas cuentan con una agricultura de temporal (caña de azúcar) y presentan los cinco tipos de suelo de la llanura fluvial: gleysol, vertisol, castañozem, feozem y luvisol, en ese mismo orden es la importancia respecto al área que ocupan en el área de estudio con 60.9%, 16%, 15.1%, 4.9% y 3.1% respectivamente (Figura 68).

De las 2 llanuras fluviales altas restantes, una de ellas tiene un uso del suelo de pastizal cultivado y la otra cuenta con vegetación de selva alta perturbada (acahuales), mostrando un suelo de tipo feozem y gleysol respectivamente. La llanura alta con pastizal cultivado es la transición entre las llanuras bajas y las llanuras altas con uso del suelo de agricultura de temporal y las pequeñas llanuras altas con vegetación de selva alta perturbada, son áreas deprimidas inmersas dentro de la llanura alta, en donde se presenta un suelo saturado de agua la mayor parte del año y por ello se desarrollan suelos tipo gleysol. Y debido a tales características el hombre no ha modificado el uso del suelo en estas áreas, no obstante la cercanía con las zonas adyacentes de uso agrícola (Figura 68).

Las llanuras fluviales altas a pesar de tener una mayor elevación, que el resto de la llanura fluvial, no están fuera o exentas de las afectaciones de los procesos de inundación, ya que debido a que se ubican paralelas a las corrientes fluviales, son las primeras en ser inundadas cuando los ríos se desbordan. Pero la ventaja que ofrecen en comparación con la llanuras bajas es que cuentan con suelos que mantienen un mejor drenaje, hasta en el caso de los suelos tipo gleysol, ya que estos presentan para las llanuras altas subunidades éutricas.

En las llanuras bajas no se presenta la utilización agrícola del suelo, el uso se encuentra restringido a pastizal cultivado principalmente para la margen derecha del Río Papaloapan, Obispo y Tesechoacán, abarcando estas áreas un 25.7% de la zona de estudio y desarrollando suelos tipo gleysol con subunidades vérticas, lo cual expone condiciones de drenaje deficientes. Otras áreas de llanura fluvial baja de la margen derecha del Río Papaloapan son aun más bajas que las anteriormente descritas, ya que en ellas se desarrollan vegetación de tular, estas zonas no son utilizadas por ninguna actividad productiva (Figura 68).

Mientras que las llanuras bajas de la margen izquierda del Río Papaloapan son las más bajas de las llanuras bajas (llanuras palustres), ya que ahí se encuentra la mayor extensión de comunidades de popal-tular vegetación que requiere de condiciones de hasta un metro de inundación. Las últimas llanuras bajas correspondientes a aquellas áreas adyacentes a la laguna costera de Alvarado en donde la influencia marina se hace sentir desarrollando llanuras con comunidades de Manglar (llanuras lagunares), que penetran como ya se mencionó anteriormente hasta 25 Km tierra adentro, para ambas llanuras bajas, tanto palustres como lagunares de la margen derecha del Río Papaloapan se han formado suelos tipo gleysol, debido a la sobresaturación de agua en esas zonas (Figura 68).

Los islotes fluviales son unidades inmersas dentro del cauce fluvial, las cuales por esta razón constituyen las áreas con mayor riesgo natural de ser inundadas.

Las unidades naturales correspondientes a las elevaciones menores, piedemonte y lomeríos, así como a las dunas costeras, no se les mencionará, ya que estas unidades debido a sus características geomorfológicas no desarrollan procesos de inundación.

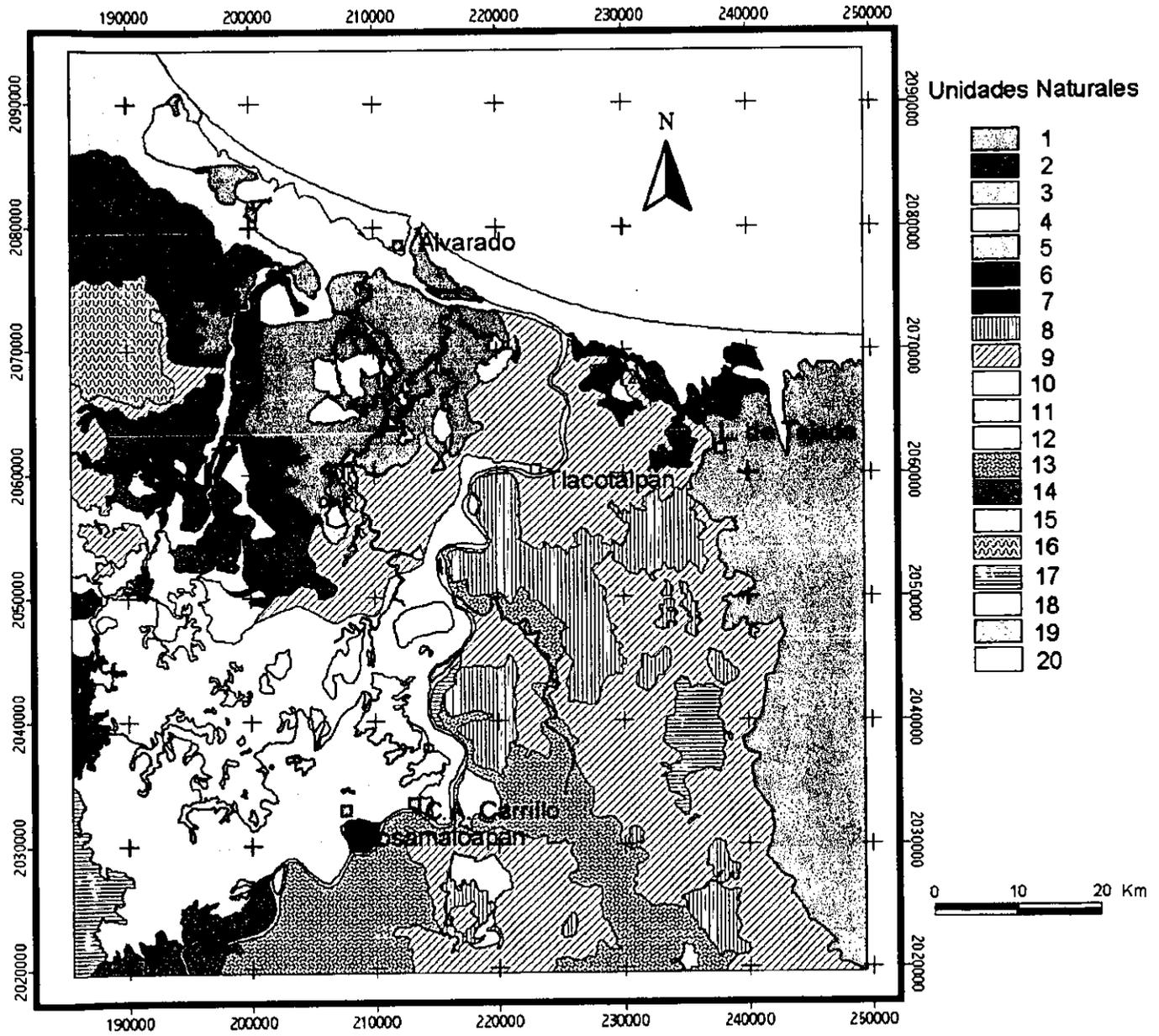


Figura 68. Mapa de Unidades Naturales

## **LEYENDA DE LAS UNIDADES NATURALES**

1. Llanura lagunar con manglar y suelos tipos gleysol,
2. Llanura palustre de popal-tular y suelos tipo gleysol,
3. Islotes fluviales con tular y suelos tipos gleysol,
4. Islotes fluviales con selva alta (acahuales) y suelos tipo gleysol,
5. Islotes fluviales con agricultura de temporal y suelos tipo feozem,
6. Islotes fluviales con agricultura de temporal y suelos tipo luvisol,
7. Islotes fluviales con agricultura de temporal y suelos tipo vertisol,
8. Llanura fluvial baja con tular y suelos tipo gleysol,
9. Llanura fluvial baja con pastizal cultivado y suelos tipo gleysol,
10. Llanura fluvial baja con pastizal cultivado y suelos tipo vertisol,
11. Llanura fluvial alta con selva alta perturbada (acahuales) y suelos tipo gleysol
12. Llanura fluvial alta con pastizal cultivado y suelos tipo feozem
13. Llanura fluvial alta con agricultura de temporal y suelos tipo gleysol
14. Llanura fluvial alta con agricultura de temporal y suelos tipo luvisol
15. Llanura fluvial alta con agricultura de temporal y suelos tipo vertisol
16. Llanura fluvial alta con agricultura de temporal y suelos tipo castañozem
17. Llanura fluvial alta con agricultura de temporal y suelos tipo feozem
18. Elevaciones menores con pastizal y suelos tipo gleysol
19. Piedemonte y lomeríos con pastizal, agricultura de temporal y suelos tipo feozem y vertisol
20. Dunas costeras con pastizal inducido y suelos tipo regosol

#### IV.5 DENSIDAD DEL DRENAJE

La información de la red del drenaje en un estudio sobre procesos de inundación es fundamental, ya que, si un drenaje mantiene menor recorrido para desalojar el agua de una corriente, éste será más eficiente, disminuyendo así, la magnitud de los procesos de inundación.

La representación del mapa de densidad del drenaje (D.D.) se realiza mediante la suma de las longitudes de las corrientes fluviales o talwegs en un área específica, dividida entre el área de la misma. Generalmente el valor de la densidad del drenaje se da en  $\text{km} / \text{Km}^2$ . Los valores de la densidad del drenaje para el área de estudio se obtienen en áreas pequeñas de  $2.5 \times 2.5 \text{ km}$  ( $6.25 \text{ km}^2$ ), tales figuras geométricas expresan un valor, el cual posteriormente se interpola con los valores adyacentes, formando así un mapa de isolíneas, en donde cada una de ellas representa espacialmente un mismo valor (Lugo, 1988).

El mapa de densidad del drenaje se realiza mediante un programa aml, diseñado por Cuevas (1993), el cual corre dentro del software arc/info. De este modo la tarea de elaboración de dicho mapa, se lleva a cabo de manera automatizada y de forma rápida. Se tomo en consideración la representación hidrológica que marcan las cartas topográficas 1: 50 000 de INEGI, ya que en la zona de estudio no se pueden deducir corrientes a través de las curvas de nivel, ya que estas no aparecen debido a la baja pendiente de la llanura fluvial.

La elaboración y representación del mapa de densidad del drenaje, se realiza cubriendo la zona de estudio, por lo tanto no abarca toda la trayectoria de las corrientes. Es por ello que a continuación se menciona la descripción de longitud de los afluentes principales del Río Papaloapan, tomado en cuenta el recorrido de las corrientes desde el inicio hasta su confluencia con este último.

Las siguientes características en cuanto a la longitud de las corrientes, corresponden solamente a la margen derecha, ya que los ríos de la margen izquierda están controlados por presas como es el caso de los ríos Santo Domingo y Tonto. Otros ríos que también corresponden a la margen izquierda pero no se describe su longitud, son los ríos Tlalixcoyan, Blanco, de los Pozos, Otapa, Moreno Sur, Estanzuela, Hondo, Limón y Acula, ya que éstos desembocan directamente en Laguna de Alvarado o a través del sistema lagunar que termina su destino en esta misma, sin conectarse en ningún momento con el Río Papaloapan.

La descripción sobre la longitud de las corrientes comienza con el Río Valle Nacional, que inicia su recorrido sobre la margen derecha del curso medio del Río Papaloapan a la altura del poblado de Tepanzacoalco, en las estribaciones de la Sierras Oaxaqueñas con una longitud del cauce principal hasta su confluencia con el Río Papaloapan de 89 Km, a la altura de la ciudad de Tuxtepec, Oax., drenando una superficie de  $1,280 \text{ Km}^2$  (Morales y Méndez, 1997).

El Río Obispo se origina a la altura del poblado Pueblo Viejo en el estado de Oaxaca y drena una superficie de  $1,766 \text{ km}^2$  hasta su confluencia con el Río Papaloapan a la altura de la ciudad de Chacaltianguis, Ver., realizando un recorrido de 79 km desde su origen (Morales y Méndez, 1997)

El Río Tesechoacan se origina a la altura de los poblados Llano Grande y Cuajimoloyas en el estado de Oaxaca, recorriendo un total de 269 km hasta su confluencia con el Río Papaloapan a la altura del poblado San Pedro Amatitlán, Ver., el Río Tesechoacan drena una superficie de 6,354 km<sup>2</sup> hasta su confluencia con el Río Papaloapan (Morales y Méndez, 1997)

Y el Río San Juan se origina a la altura del poblado Huitepec en el estado de Oaxaca drenando una superficie de 9, 448 km<sup>2</sup> hasta su confluencia con el Río Papaloapan realizando un recorrido total sobre su cauce principal de 263 km (Morales y Méndez, 1997)

De los cuatro ríos principales de la margen derecha del Río Papaloapan dos de ellos cuentan con gran recorrido, estos son: el Río Tesechoacan con 269 km y el San Juan Evangelista con 263, ambos afluentes no presentan rectificación alguna en su curso y mucho menos un control de avenidas por medio de la construcción de presas.

El mapa de densidad del drenaje elaborado en este trabajo, cubre la porción baja de la llanura de inundación abarcando todas las corrientes, tanto las de la margen izquierda como las de la margen derecha. Y realizando un vistazo general del mapa se observa la misma tendencia de la descripción anterior, teniendo que la margen derecha muestra los valores más altos en densidad del drenaje (D. D.) y que el curso del Río San Juan muestra los valores más altos en la longitud de su curso fluvial, comparado con el resto de los ríos de la zona (figura 69).

En el área de estudio los valores más altos de densidad del drenaje forman parte de la margen derecha de Río Papaloapan, localizados en la porción centro oriental de la llanura fluvial, ubicados bajo el piedemonte volcánico de los Tuxtlas. Son dos zonas que tienen valores desde 1.25 a 3.0 km / km<sup>2</sup> (figura 69). Una de ellas corresponde al Río San Juan y la otra al Río Martintela coinciden con las unidades naturales de llanura fluvial baja con vegetación de pastizal cultivado y de tular respectivamente, ambas con suelos tipo gleysol (figura 68).

Los poblados del Río San Juan ubicados en los valores de la D. D. antes mencionados, corresponden a las localidades de: El Marqués, Seis de Enero, La Esperanza, Mata de Chile, El Jobo, la Patrona, Tierra nueva, Santa Rosalía, San Joaquín, San José de Cházaro, Antón Vicente y Santa. Julia.

Estas localidades se ubican en áreas ligeramente más altas en comparación con el resto de la llanura, en los llamados albardones.

La corriente del Río Martintela se ubica entre los Ríos Tesechoacan y San Juan. Esta corriente desemboca en este último y es un río que tiene una red de pequeños arroyos de trayectoria muy sinuosa, que se unen y separan formando una red fluvial compleja y en donde alcanza valores de la D. D. de 1.75 a 2.5 km / km<sup>2</sup>, a la altura de San José de Cházaro. Este río forma cuerpos de agua a lo largo de su trayectoria, algunos de ellos pequeños y otros de dimensiones más grandes como lo son la Laguna de Martintela y La Laguna Esterillo. Pero a diferencia del Río San Juan en esta zona no se encuentran localidades.

El área del Río Martintela es la que presenta la porción más grande con valores altos en la D.D. Está zona como otras que se presentan en la llanura de la margen derecha del Papaloapan, se encuentran constituidas por áreas deprimidas rodeadas por las corrientes fluviales y como se mencionó anteriormente se unen y separan formando una red de drenaje anastomosado en donde la longitud de las corrientes es mayor y también el tiempo de salida, generando una zona con problemas de drenaje y por tanto un área vulnerable de ser inundada.

Al sur de las zonas anteriormente descritas se encuentran tres porciones, las cuales tienen también valores altos que van de 1.75 a 2.5 km / km<sup>2</sup>, son áreas de dimensiones más pequeñas que las del Río San Juan y Martintela (figura 69). Las tres zonas forman parte de la llanura fluvial baja con pastizal cultivado y suelos tipo gleysol (figura 68).

La primer zona corresponden al río Pitahaya el que aguas abajo es llamado Tecomate, en esta corriente las localidades de El Jicaro, Dos matas, Cerro Colorado y Mata de Caña se ubican en los valores más altos de D. D. La segunda porción se encuentra también en la corriente del Pitahaya, pero más al sur, en donde se establece la población del mismo nombre. Y la tercera porción corresponde al río Palo Clavado, corriente que posteriormente es llamada Martintela y en esa área no se presenta ninguna localidad.

En la parte nororiental de la margen derecha, cercana a la zona de las dunas costeras, se encuentran dos zonas con valores que alcanzan también los 1.75 a 2.0 km / km<sup>2</sup> (figura 69) y una de ellas corresponde al curso fluvial del Río Tecomate en la porción de la llanura fluvial baja con vegetación de tular y suelos tipo gleysol, en ella se encuentra la localidad de El Mirador. Y la otra zona forma parte del curso del Río Zapotal que aguas abajo es llamado California, este río se encuentra entre el Río Tecomate y el Papaloapan, tiene una configuración muy parecida a la del Río Martintela, mostrando una red sinuosa y constituida por numerosos cuerpos de agua, y al igual que la zona de Martintela no se ubica ninguna población.

En la margen izquierda del Río Papaloapan los únicos valores altos de la densidad del drenaje mayores a 1.75 a 2.0 km / 5 km<sup>2</sup>, se localizan en el curso bajo del Río Acula (figura 69), en lo que corresponde a la llanura lagunar con manglar y suelos gleysol. Se ubica en esta área la población de Plaza de Armas y las Maravillas.

En contraste los valores más bajos forman parte de la margen izquierda del Río Papaloapan, en la zona que se encuentra entre el Río Limón y el Acula, es un gran corredor con dirección suroeste-noreste, que abarca la llanura fluvial alta y la llanura fluvial baja ambas con pastizal cultivado y sigue hasta la llanura palustre de popal-tular y la llanura lagunar con manglar en la zona costera de la laguna de Alvarado (figura 69).

Otra área de la margen izquierda con valores muy bajos son las llanuras fluviales altas adyacentes a las poblaciones de Cosamaloapan y Calos A. Carrillo (figura 69).

La mayor parte del curso del Río Papaloapan presenta valores bajos a medios de .25 hasta 1.0 km/ km<sup>2</sup>, y alcanza valores de 1.5 km / km<sup>2</sup>, en dos porciones, la primera al norte cercana a la desembocadura del Río Martintela sobre el San Juan, área que corresponde a una llanura baja con vegetación de tular. Y la segunda se ubica al sur del

meandro de la población de Cosamaloapan en donde se encuentra la localidad de Cerro de Torres (figura 69).

El Río Limón en todo su recorrido mantiene valores bajos y solo en dos porciones alcanza valores de 1.0 a 1.2 km / km<sup>2</sup> (figura 69).

La representación del Río Obispo en la zona de estudio, solo comprende la desembocadura de este con el Río Papaloapan, en donde presenta valores de densidad del drenaje de hasta 1.2 a 1.5 km / km<sup>2</sup>. Y para el Río Tesechoacan el recorrido de su curso fluvial mantiene valores muy regulares en la D. D. que fluctúan entre .5 a 1.2 km / km<sup>2</sup> (figura 69).

La representación de la densidad del drenaje para la zona de estudio, maneja dos mapas uno que expresa valores que van desde 0 a 3.0 km / km<sup>2</sup>, los cuales están representados en doce rangos (ver Fig. 69), y de los que se ha realizado la descripción en los párrafos anteriores.

El segundo mapa agrupa los valores en cuatro niveles de densidad del drenaje, que son: 1)  $> .5 \text{ km} / \text{km}^2 =$  nivel bajo; 2)  $.5 \text{ a } .75 \text{ km} / \text{km}^2 =$  nivel medio ; 3)  $.75 \text{ a } 1.2 \text{ km} / \text{km}^2 =$  nivel alto y 4)  $\geq 1.2 \text{ km} / \text{km}^2 =$  nivel muy alto, todo ello con el fin de simplificar nuestro mapa, para el posterior análisis de los niveles del riesgo "natural" de inundación (figura 70)

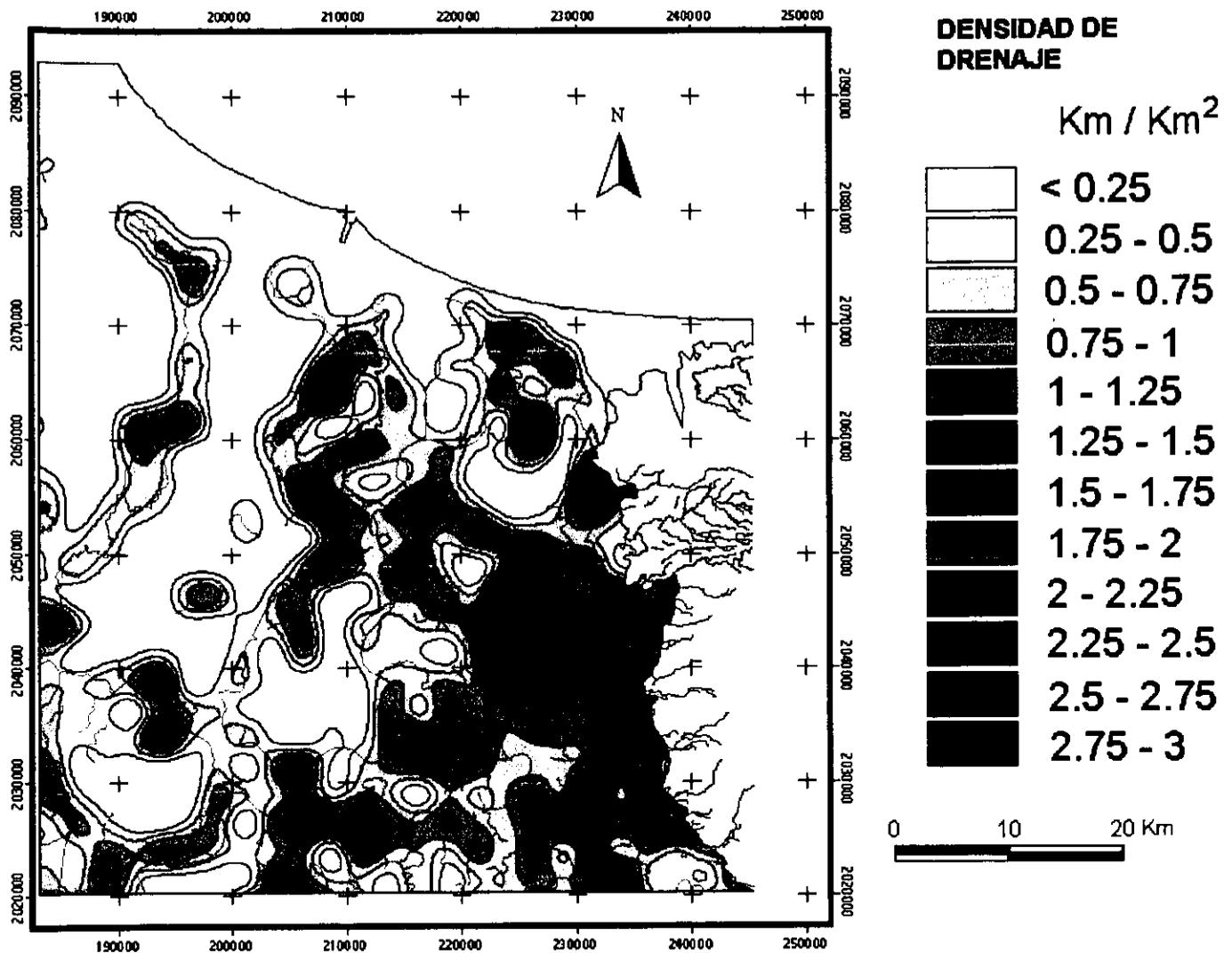


Figura 69. Mapa de densidad del drenaje.

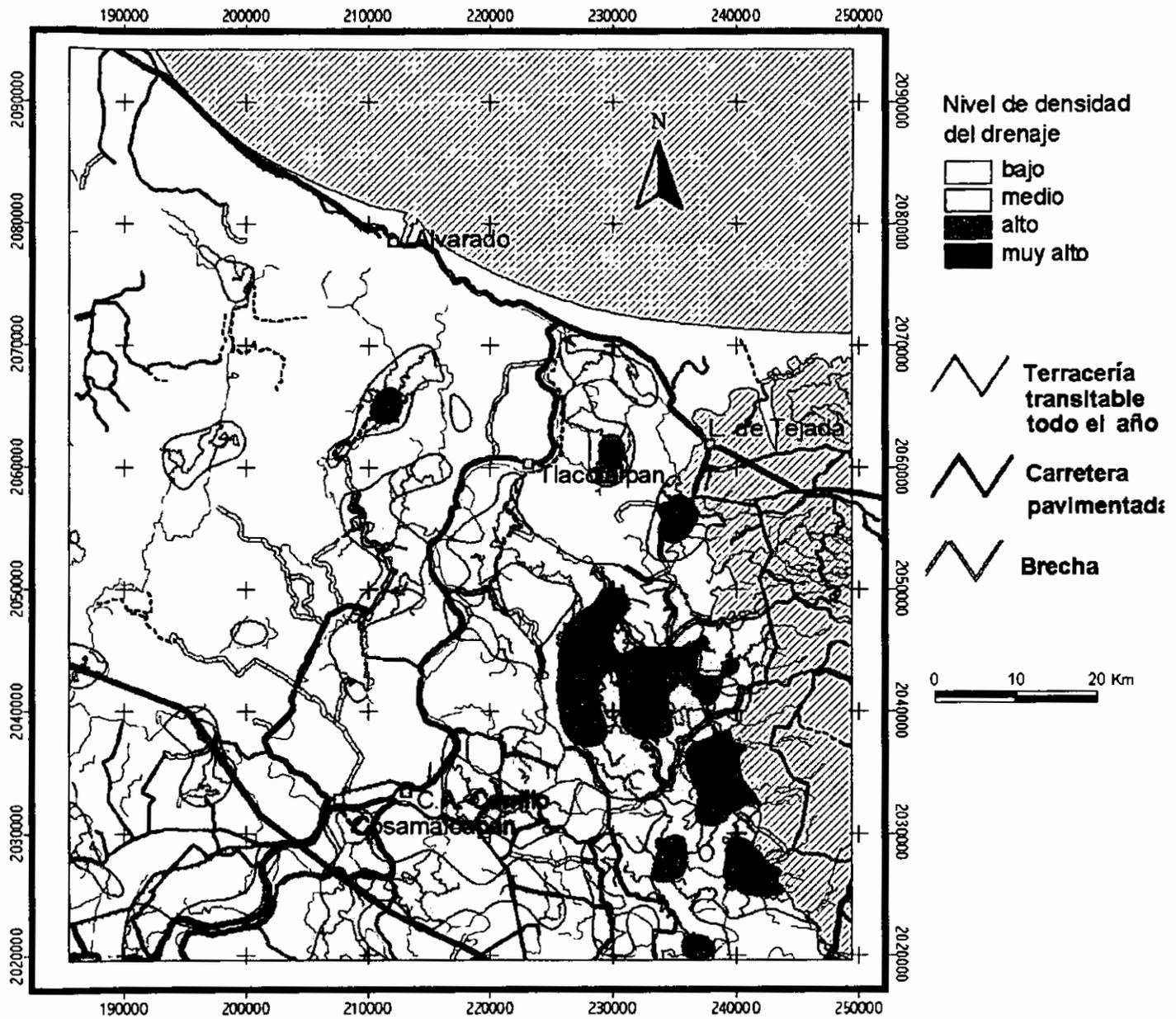


Figura 70. Mapa de densidad del drenaje con valores agrupados

#### IV.6 DETERMINACIÓN DEL PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN

El siguiente análisis es la interrelación de los factores naturales y antrópicos que forman parte del peligro "natural" de inundación y que fueron tomados en cuenta en el presente trabajo.

Como se mencionó en el marco teórico el peligro "natural" se define como la probabilidad que se presenten fenómenos naturales "destructivos", caracterizándose por la frecuencia de la ocurrencia y la intensidad del fenómeno, el cual ve favorecida su manifestación en función de las condiciones geológicas, geomorfológicas y climatológicas de un lugar (S.G. y SEDESOL, 2000)

La interrelación de todos los factores pretende determinar diferentes niveles del peligro "natural" de inundación en la zona de estudio de forma espacial, considerando las características que presentan los factores naturales y antrópicos.

El análisis de las características de los factores que intervienen en las inundaciones, es valioso porque permite conocer el comportamiento que han presentado en el pasado y pronostica las tendencias que tendrán las futuras inundaciones. Esto es importante porque brinda la oportunidad de realizar medidas de control adecuadas, pues será el resultado de un análisis integral del problema.

El nivel o grado del peligro "natural" de inundación está determinado por las características que muestren los factores naturales y antrópicos, teniendo que si una unidad natural, mantiene una forma del relieve negativa, un suelo con drenaje deficiente, alta densidad del drenaje, alto porcentaje de cubierta vegetal modificada en la subcuenca, entonces esta superficie tendrá un nivel de peligro "natural" de inundación muy alto, ante la presencia de un evento hidrometeorológico de magnitud considerable.

El nivel del peligro "natural" de inundación será la suma de los factores naturales y antrópicos, los cuales establecen condiciones favorables o desfavorables para los procesos de inundación.

La suma de las características se lleva a cabo mediante la sobreposición de las capas de información, como lo son la representación espacial de las unidades naturales, la densidad del drenaje, los cambios de la cobertura vegetal y las pendientes. Debe señalarse que para los dos últimos temas la representación es en la cuenca completa.

La determinación del peligro "natural" de inundación es la suma de las características de las diferentes coberturas y de la información hidrometeorológica. Todo ello se analiza en tres etapas: 1) tratamiento y sobreposición de las coberturas de las unidades naturales y la densidad del drenaje en la zona de estudio; 2) análisis de la sobreposición de las coberturas de la modificación de la cubierta vegetal y las pendientes junto con el índice de antropización. Estos factores corresponden a toda la cuenca, y 3) interrelación de las etapas anteriores y los escenarios hidrometeorológicos

El análisis de los factores hidrometeorológicos permitió establecer cuatro escenarios en los cuales se han producido las inundaciones. Se toman en cuenta las características de éstos y se relacionan con la ubicación y distribución de la información espacial de la zona de estudio determinando así, escenarios de afectación de acuerdo al evento que se presente.

Los factores que forman parte del peligro "natural" de inundación durante los procesos de inundación, se dividieron en dos grupos:

1) Los factores que llamaremos constantes o fijos, en los que sus características y participación en el desarrollo de las inundaciones, no manifiesta cambios en periodos cortos de tiempo. Estos factores están constituidos por las unidades naturales y la densidad del drenaje.

2) Los factores variables o cambiantes que presentan diferentes patrones o modificaciones en el tiempo. Estos son los eventos hidrometeorológicos constituidos por las perturbaciones atmosféricas, gastos hidrométricos y precipitaciones. También forman parte de este grupo los cambios en la cubierta vegetal.

La pendiente es un factor que mantiene sus características constante en grandes periodos de tiempo, no obstante su participación en los procesos de inundación cambia sustancialmente. Cuando la cubierta vegetal original ha sido modificada, entonces su participación y respuesta en dicho proceso también es diferente a través del tiempo; es por ello que se analizó conjuntamente dentro de los factores variables o cambiantes.

La determinación del peligro "natural" de inundación se elabora a través de tres etapas: 1) tratamiento y sobreposición de las coberturas que corresponden a las unidades naturales y la densidad del drenaje en la zona de estudio (factores fijos); 2) análisis de la sobreposición de las coberturas de la modificación de la cubierta vegetal y las pendientes junto con el índice de antropización (factores cambiantes), así como otros indicadores y 3) interrelación de las etapas anteriores y los escenarios hidrometeorológicos (factores cambiantes).

#### IV.6.1 Primera etapa

##### FACTORES CONSTANTES O FIJOS.

El análisis de los dos factores que constituyen este grupo se lleva a cabo mediante la sobreposición de la información que presentan la cobertura de las unidades naturales y la densidad del drenaje.

La cobertura de las unidades naturales presenta un total de 20 tipos de unidades que si se cruzaran con los cuatro rangos de la densidad del drenaje, nos darían un total de 80, combinaciones, cada una con un nivel de peligro natural de inundación. Esto sería muy complicado, por lo cual las 20 unidades naturales fueron agrupadas, sin que ello represente perder información de las características de las unidades y permitiendo de una forma más sencilla determinar el peligro "natural" de inundación.

La agrupación de las 20 clases de las unidades naturales se llevó a cabo tomando en cuenta la morfología del relieve, caracterizando tres grupos: 1) las formas del relieve negativas; 2) las formas neutras y 3) las formas positivas. Pero también se consideró el drenaje que presentan dos tipos de suelo: 1) drenaje deficiente y 2) drenaje eficiente.

Los tres grupos de las formas del relieve concentraron a las siguientes unidades: 1) el grupo de las formas del relieve negativo conformado por las llanuras lagunares, las llanuras palustres, los islotes fluviales y las llanuras fluviales bajas; 2) el grupo de las

formas neutras lo constituyeron las llanuras fluviales altas y 3) el grupo de formas positivas lo conformaron las elevaciones menores; el piedemonte y lomeríos y las dunas costeras.

Por su parte el drenaje que corresponde a los tipos de suelos encontrados en las 20 unidades naturales se agruparon de la siguiente manera: 1) el grupo correspondiente al drenaje deficiente representa a los suelos tipo gleysol y 2) el grupo de suelos con drenaje eficiente concentró los suelos tipo Feozem, Castañozem, Luvisol, Vertisol y Regosol.

La combinación de los tres grupos de las formas del relieve con los dos tipos de drenaje que presentan los suelos dieron las siguientes clases: forma negativa con drenaje deficiente; forma negativa con drenaje eficiente; forma neutra con drenaje deficiente; forma neutra con drenaje eficiente; forma positiva con drenaje eficiente y forma positiva con drenaje deficiente (ver tab.15).

La información anterior se cruzó en una matriz que contenía la información de los cuatro rangos de la densidad del drenaje: 1) densidad del drenaje baja, 2) densidad del drenaje media, 3) densidad del drenaje alta y 4) densidad del drenaje muy alta.

<b>DENSIDAD DEL DRENAJE</b>	<b>UNIDADES NATURALES</b>					
	<i>Forma Negativa Drenaje Deficiente</i>	<i>Forma Negativa Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Neutra Drenaje Deficiente</i>	<i>Forma Neutra Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Positiva Drenaje Eficiente</i>	<i>Forma Positiva Drenaje Deficiente</i>
<i>D.D. Baja</i>	Alto	Medio	Medio	Bajo	Nulo	Nulo
<i>D.D. Media</i>	Alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo	Nulo
<i>D.D. Alta</i>	Muy alto	Alto	Alto	Medio	Nulo	Nulo
<i>D.D. Muy alta</i>	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Medio	Nulo	Nulo

Tabla 15. Niveles del peligro "natural" de inundación correspondientes a la primera etapa.

Las asignación de la primera etapa del peligro "natural de inundación" presentó cinco niveles del peligro natural de inundación: Nulo = 0, Bajo = 1, Medio = 2, Alto = 3 y Muy alto = 4 (ver tab.15)

El resultado de la sobreposición de las coberturas junto con la asignación con base a sus características, genera un mapa en donde predominan las superficies que presentan el nivel de peligro "natural" de inundación alto (Figura 81). El peligro de inundación alto se ubica en forma de corredor sobre todo el curso de los ríos San Juan y Tecamate hasta su desembocadura, el ancho promedio de tal corredor es de 12 km.

El peligro "natural" de inundación alto también se presenta en la porción más baja de la cuenca sobre los cursos y áreas aledañas de los ríos Acula, Camarón o Limón y Blanco, en lo que constituyen formas negativas con drenaje deficiente y una densidad del drenaje bajo a medio. Y por último con un nivel alto de inundación se presentan dos superficies en la margen izquierda del Río Tesechoacán, una cercana a su desembocadura y la otra con mayor superficie inicia a la altura de la localidad de Cosamaloapan continuando aguas arriba.

Las superficies con nivel bajo del peligro de inundación, ocupan el segundo lugar en cuanto al área que representan. Se ubican en la margen izquierda del Río Papaloapan y corresponden a formas positivas con drenaje eficiente y una densidad del drenaje bajo a medio, que para la zona de estudio inicia desde Novillero hasta Tlacotalpan, pero debe aclararse que a pesar de contar con un nivel bajo de inundación, las poblaciones ubicadas en la ribera de los ríos sufren inundaciones anualmente; es por ello se asignó adicionalmente un grado de peligro natural de inundación alto a las superficies aledañas del curso principal del Río Papaloapan en una distancia de 1 km.

El tercer lugar por la superficie está representado por el nivel medio del peligro de inundación, correspondiente a las formas positivas con drenaje deficiente y una densidad del drenaje de bajo a medio, dichas superficies corresponden a las desembocaduras y áreas aledañas a los cursos fluviales de los Ríos Obispo y Tesechoacán.

Y por último, con menor extensión, se encuentran las superficies con peligro de inundación muy alto, las cuales corresponden a formas negativas con drenaje deficiente y una densidad del drenaje de alto a muy alto. Se localizan dichas superficies en forma de manchones inmersos dentro del corredor del peligro alto del Río San Juan Evangelista, el más grande de estos manchones se localiza a la altura de tres Zapotes y otros tres al sur de éste a la altura de la localidad el Pretil. Mientras por la parte norte de tal corredor se encuentran otras dos superficies con nivel de inundación muy alta a la altura de las localidades Salta Barranca y Tlacotalpan.

También con un nivel muy alto de peligro de inundación se localiza una pequeña superficie inmersa en la zona del curso bajo del Río Acula a la altura de la localidad de Plaza de Armas, que presenta formas negativas con drenaje deficiente y una densidad del drenaje alto, lo cual corresponde a un paisaje lagunar con vegetación de manglar.

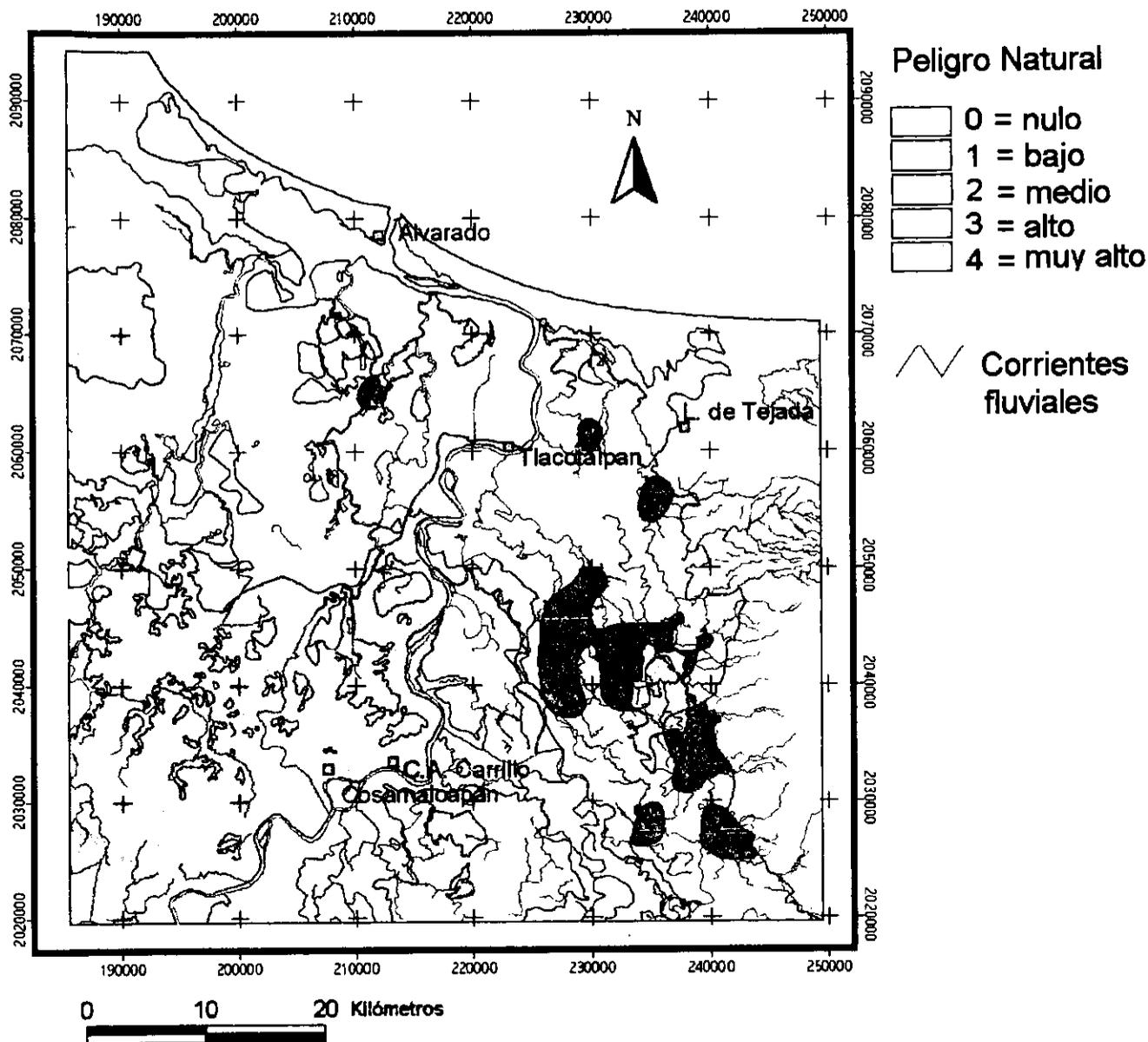


Figura 70a. Sobreposición de la información de la coberturas de las unidades naturales y la densidad del drenaje ambas agrupadas correspondiente a la primera etapa.

## IV.6.2 Segunda etapa

### FACTORES CAMBIANTES O VARIABLES

La segunda etapa en la asignación del peligro "natural" de inundación corresponde a la interpretación de la sobreposición de la información de los cambios en la cubierta vegetal y las pendientes, descrita anteriormente para el periodo de 1973-1993. En donde además se suman los cambios efectuados antes de 1973 y abarcando con información del año 2000 para contar con la totalidad de la superficie modificada de forma actualizada, obteniendo con ello el índice de antropización (Figura 71).

Para calcular el índice de antropización se estimaron las superficies de las coberturas naturales (selva, manglar, popal-tular, matorral, ...) y de las cubiertas que resultan de una transformación por las actividades humanas (agricultura, pastizales, asentamientos humanos). El índice es la diferencia entre las superficies de estas dos categorías expresada en porcentaje. Un índice de 100 % indica que la totalidad del área es natural, un índice de -100 % indica al contrario que toda la superficie ha sido transformada en cubiertas artificiales mientras que un valor cercano a cero corresponde a áreas donde la superficie de las cubiertas naturales es similar a la de las cubiertas artificiales.

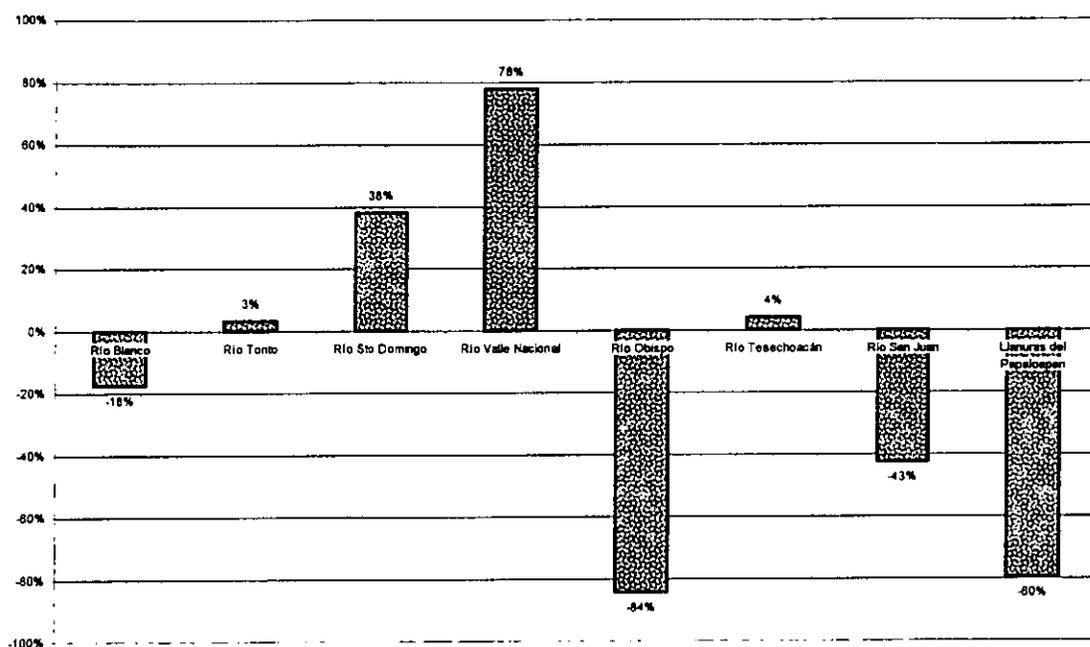


Figura 71. Gráfica del índice de antropización en las subcuencas del Río Papaloapan

El grado del peligro de inundación en la segunda etapa resulta del porcentaje de antropización para cada una de las subcuencas, del control de las corrientes por obras de ingeniería (presas), del destino de evacuación de las corrientes y como último indicador el incremento de los gastos hidrométricos.

Para la determinación del peligro "natural" de inundación en esta segunda etapa, se considera lo siguiente:

- 1)  $>$ índice de antropización  $>$  peligro "natural" de inundación.
- 2) Las corrientes no controladas tendrán mayor peligro de inundación

3) Si la corriente desemboca directamente al mar representa menor peligro para los procesos de inundación.

4) Si una subcuenca presenta un aumento en el gasto máximo hidrométrico cuenta con un nivel mayor de peligro de inundación.

La determinación del peligro de inundación en la segunda etapa se traduce en bajo y alto, considerando solamente estos dos niveles debido a la heterogéneo de los elementos participantes.

Las consideraciones anteriores están resumidas en la siguiente tabla:

<b>NOMBRE SUBCUENCA</b>	<b>% ANTROPIZACION</b>	<b>CORRIENTE CONTROLADA</b>	<b>DESTINO DE LA CORRIENTE</b>	<b>INCREMENTO DEL GASTO HIDROMETRICO</b>	<b>NIVEL DE PELIGRO NATURAL DE INUNDACIÓN</b>
Río Obispo	-84%	NO	Río Papaloapan	No hay datos	<b>ALTO</b>
Llanuras del Papaloapan	-80%	NO	Mar	No hay datos	<b>BAJO</b>
Río San Juan	-43%	NO	Río Papaloapan	SI	<b>ALTO</b>
Río Blanco	-18%	NO	Mar	NO	<b>BAJO</b>
Río Tonto	3%	SI	Río Papaloapan	NO	<b>BAJO</b>
Río Tesechoacán	4%	NO	Río Papaloapan	SI	<b>ALTO</b>
Río Sto. Domingo	38%	SI	Río Papaloapan	NO	<b>BAJO</b>
Río Valle Nacional	78%	NO	Río Papaloapan	NO	<b>BAJO</b>

Tabla 16. Niveles del peligro "natural" de inundación correspondientes a la segunda etapa.

Los valores numéricos de los niveles de la segunda etapa se traducen en los siguientes resultados, peligro "natural" de inundación bajo = 0 y alto = 1

Los resultados de estas dos primeras etapas se suman para determinar de forma espacial, el peligro "natural" de inundación de la zona de estudio. A la primera etapa se le añaden los límites de las subcuencas y al mismo tiempo la información de la segunda etapa.

Las suma de las dos primeras etapas se efectúa con la información de los resultados en valores numéricos de las dos etapas. Teniendo cinco niveles 0= nulo, 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto y 4 y 5 = muy alto (Figura 72).

Los resultados de las primeras etapas manifiestan principalmente que las superficies pertenecientes a las subcuencas de la margen derecha del Río Papaloapan, mantienen valores que van de altos a muy altos. En el curso bajo de la subcuenca del Río San Juan predomina un nivel muy alto, teniendo también pequeñas superficies con niveles medios y altos.

En la subcuenca del Río Tesechoacán para su curso bajo se mantienen valores altos y muy altos, el primero formando un corredor paralelo al río y el último constituyendo dos manchones uno cercano a la desembocadura y el otro aguas arriba.

En la subcuenca del Río Obispo también son de nivel alto a muy alto, este último se manifiesta en la porción derecha del curso y formando parte de la desembocadura del río y en la margen izquierda se localizan valores altos.

Por su parte las subcuencas de la margen izquierda del curso fluvial del Río Papaloapan presentan valores de bajo a alto, ubicándose el nivel alto en la porción más baja de la subcuenca de la llanuras del Papaloapan y en el curso bajo de la subcuenca del Río Blanco.

Los valores con nivel medio de la margen izquierda del Papaloapan se presentan como manchones entre los valores altos y bajos e inmersos dentro de los valores bajos de la llanura alta de la margen izquierda del Papaloapan, esta última presenta una superficie de dimensiones importantes.

Otra área con nivel bajo corresponde a la llanura alta de la zona de Ignacio La Llave. Y es sobre la llanura alta del curso principal del Río Papaloapan que se presenta una zona que en la primera etapa se estableció con nivel alto, ubicada paralela al curso del río con una anchura de 1 km de distancia con respecto de la corriente

El nivel nulo corresponde a las superficies sin peligro "natural" de inundación, que pertenecen a la zonas de piedemonte y lomeríos; las elevaciones menores y la dunas costeras.

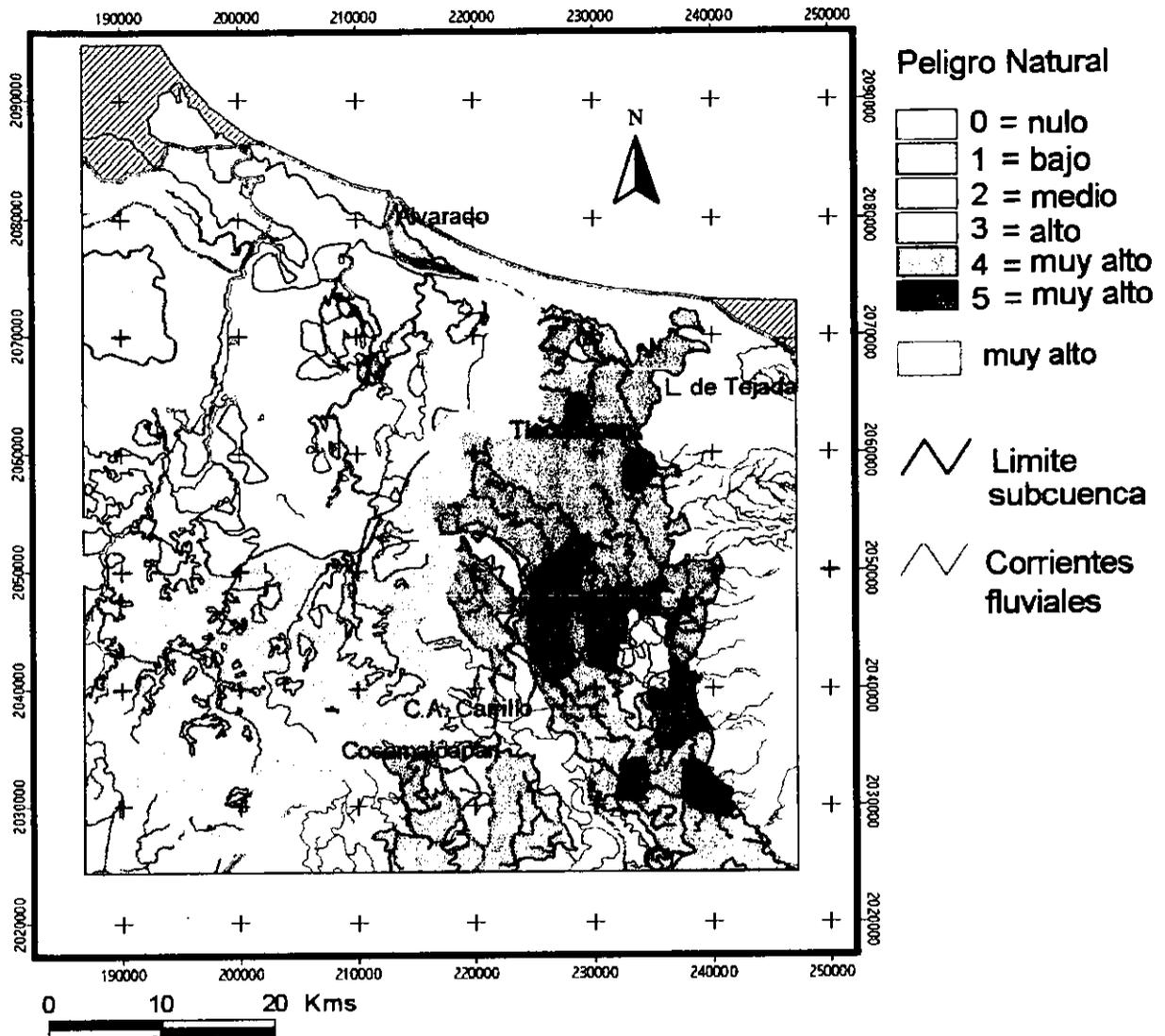


Figura 72. Determinación del Peligro "natural" de inundación de la dos primeras etapas.

### IV.6.3 Tercera etapa

La siguiente etapa busca establecer espacialmente la distribución de las inundaciones en el curso bajo del Río Papaloapan, en función de los cuatro escenarios meteorológicos y las características del mapa resultante de las dos primeras etapas del peligro "natural" de inundación.

La interrelación del mapa del peligro "natural" de inundación con los cuatro escenarios se torna complicado para los casos de los escenarios tres y cuatro, ya que como se recordará mantienen características similares, por ello estos dos escenarios quedan agrupados.

La distribución de las inundaciones correspondientes al primer escenario hidrometeorológico sobre la zona de estudio, muestra que si llegará a ocurrir un evento similar la afectación de la inundación abarcaría toda la superficie de la llanura baja del Papaloapan a excepción de las áreas con peligro de inundación bajo correspondientes a la margen izquierda y las áreas de peligro medio inmersas dentro de la misma. Este escenario afectó 340, 000 ha de superficie inundada en el año de 1969 en la porción baja de la cuenca.

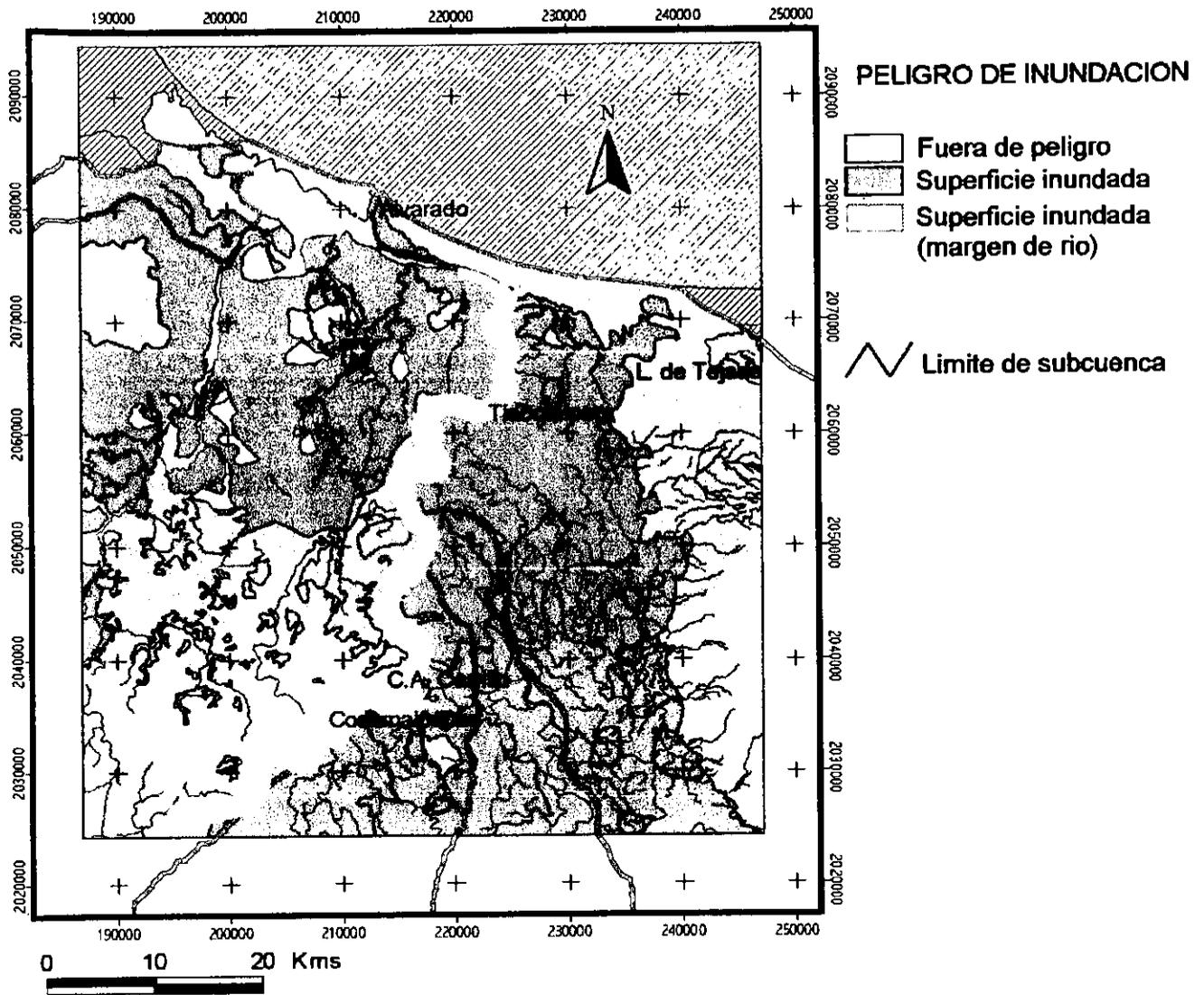
El segundo escenario corresponde a muy altos gastos hidrométricos del curso principal del Río Papaloapan y gastos bajos en los cursos de las subcuencas de la margen derecha, esta circunstancia desarrolla inundaciones en las márgenes del curso principal. El enorme caudal de la corriente principal impide la salida del agua de los afluentes de la margen derecha, generando con ello inundaciones en esas corrientes, aun cuando los gastos sean bajos y abarcando una extensión afectada por las inundaciones de 195, 000 ha ocurrida durante el año 1958.

Actualmente la corriente del Río Papaloapan se encuentra controlada por las presas Temascal y Cerro de Oro, las cuales retienen y controlan las grandes avenidas, y por tal circunstancia es difícil que eventos como los ocurridos en 1950 y 1958 pertenecientes al segundo escenario puedan repetirse.

El último escenario agrupó los escenarios tres y cuatro donde las corrientes de la margen derecha del Río Papaloapan descargan altos gastos hidrométricos, mientras que en el curso principal se presenta bajos y muy bajos gastos.

Estos escenarios originan inundaciones que afectan las superficies del curso bajo de las subcuencas de margen derecha del Río Papaloapan y en las riberas de este último en lo que corresponde a la zona de desembocadura desde el Río Obispo hasta el Tecomate.

La superficie afectada por las inundaciones del último escenario ha registrado 162, 000 ha en 1975; 205, 000 ha en 1980 y 210, 000 ha en 1981 (CNA, 1999). Las inundaciones de este tercer escenario presenta superficies muy parecidas al segundo escenario, en lo que corresponde a la cantidad de hectáreas inundadas como en la distribución de las mismas (entrevistas en trabajo de campo).



**Figura 73. Superficie inundada considerando la características de las dos primeras etapas del peligro "natural de inundación y la información del primer escenario hidrometeorológico.**

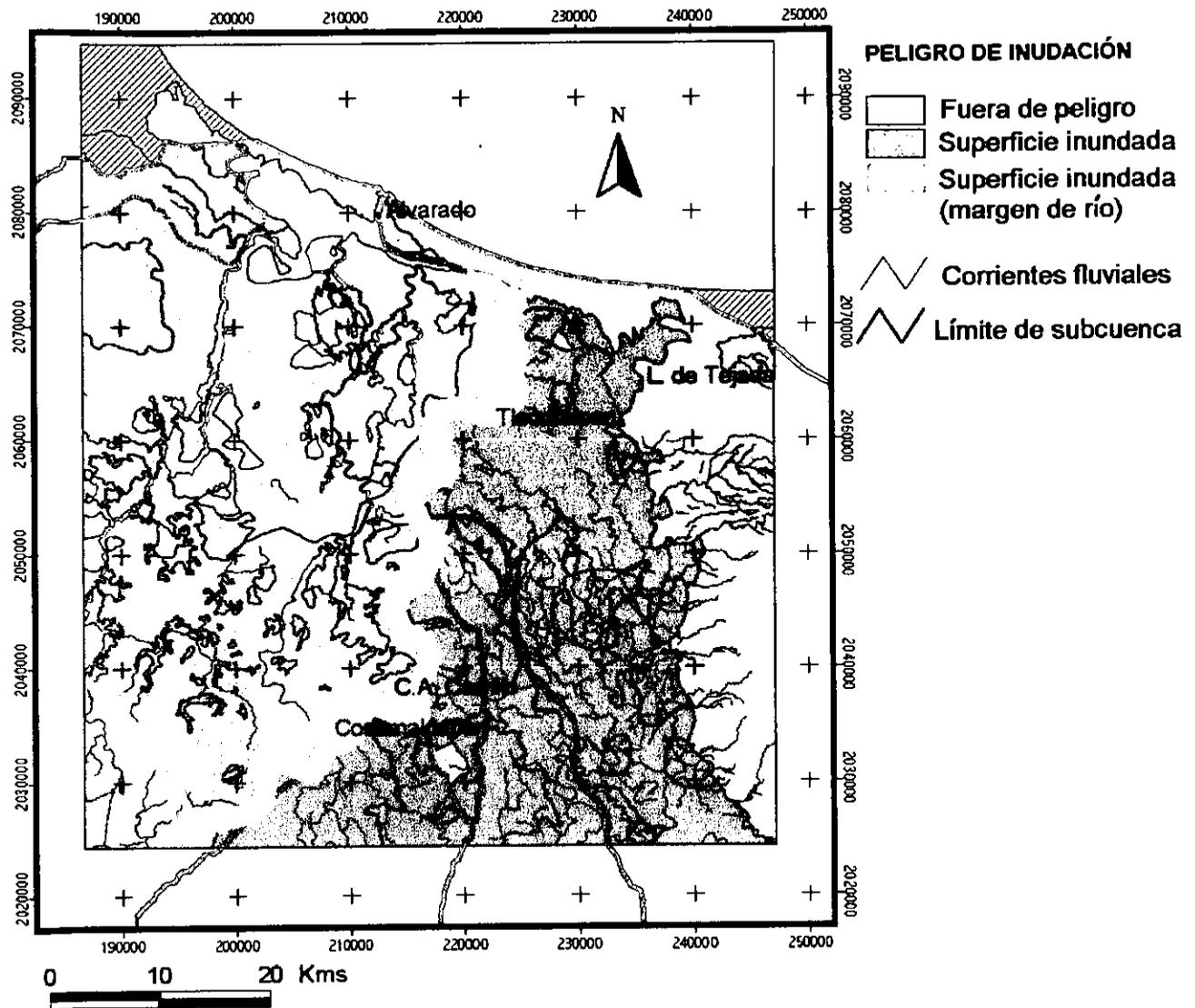
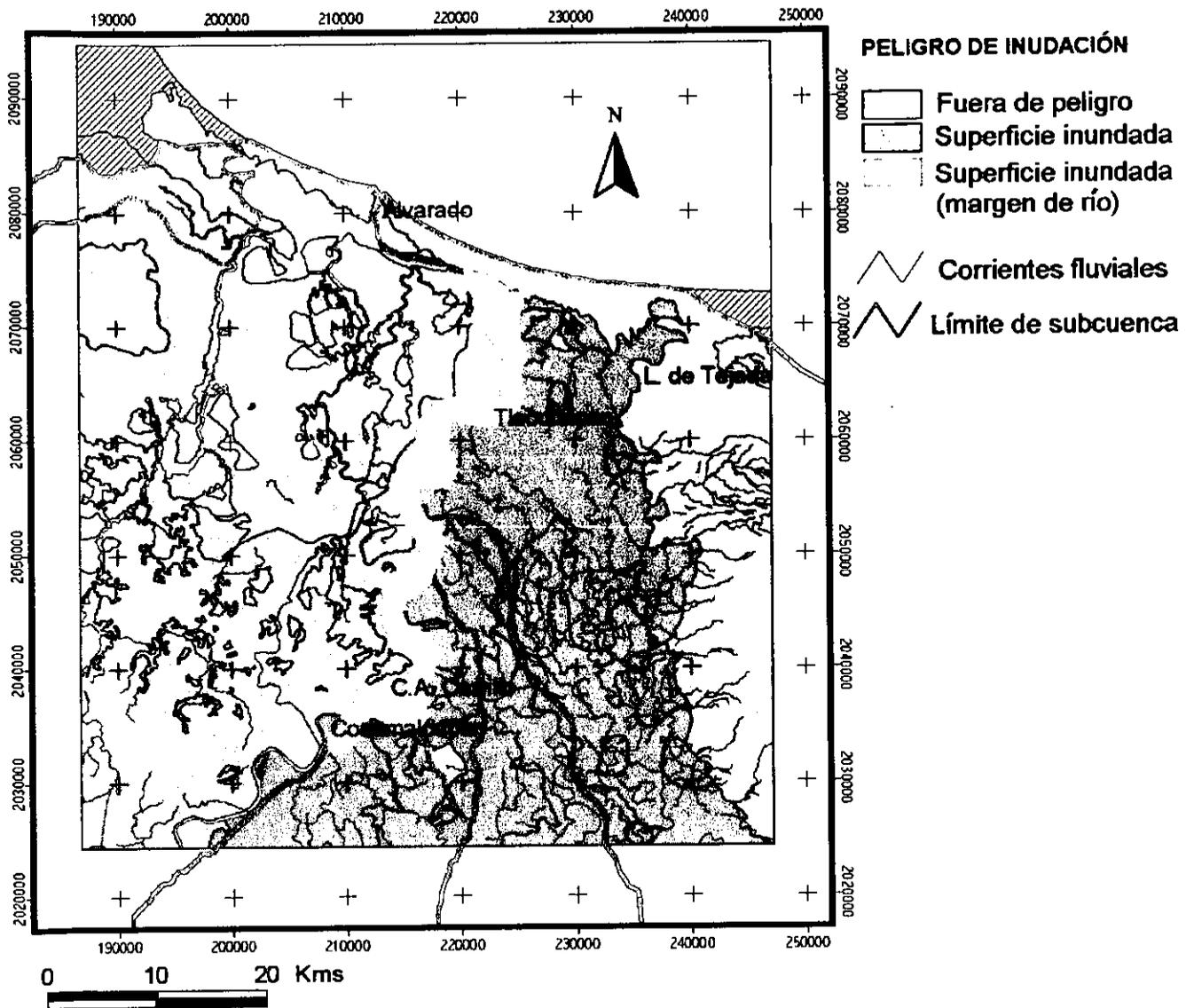


Figura 74. Superficie inundada considerando la características de las dos primeras etapas del peligro "natural de inundación y la información del segundo escenario hidrometeorológico.



**Figura 75. Superficie inundada considerando la características de las dos primeras etapas del peligro "natural de inundación y la información del tercer escenario hidrometeorológico.**

#### IV.7 MANIFESTACIONES DEL PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN.

##### FRECUENCIA DE INUNDACIÓN

La información de la frecuencia de inundación es utilizada como referencia para conocer cómo se han presentado las inundaciones en la zona de estudio, considerando la periodicidad o frecuencia (tiempo) y las localidades que han sido afectadas en los diferentes eventos (espacio); el presente trabajo maneja diferentes fuentes de referencia para la obtención de la información.

El resultado de la información de la frecuencia de inundación es la recopilación de fuentes hemerográficas, datos de las dependencias gubernamentales, información bibliográfica y encuestas en campo.

Para la información hemerográfica se escogieron tres periódicos locales del estado de Veracruz, los que fueron seleccionados tomando en cuenta que contaran con un periodo amplio de información. Los periódicos seleccionados son El Dictamen, Diario de Sotavento y Diario de Jalapa con publicaciones desde 1960 hasta 1993. En el caso del periódico El Dictamen a pesar de tener información desde principios de 1900, no fue posible consultarla, ya que éstos no estaban disponibles al usuario en formato en papel, sólo en cintas de celuloide, las cuales no permiten leer la información de forma clara.

Los datos de las dependencias gubernamentales están constituidos por el registro que realizó la Comisión del Papaloapan (1947-1987), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1950-1997) y los reportes que realiza la Comisión Nacional del Agua (1986-1994). La información de las encuestas en campo se llevó a cabo mediante el interrogatorio a la población en las diferentes localidades de la zona de estudio, donde se preguntó si anualmente se inunda y cuánta es la altura que alcanza el agua cuando se presentan las inundaciones.

La información sobre la frecuencia de inundación tiene ventajas y desventajas. Las primeras son que cuando la información es reportada y/o publicada en los diarios constituye un resultado real de los sucesos, pero la desventaja es que para las localidades alejadas o inaccesibles que no cuentan con vías de comunicación; muchas veces las afectaciones de las inundaciones no son reportadas y aún menos publicadas, porque son localidades con una población pequeña, que para el "impacto periodístico", no constituyen una noticia importante. Es por ello que la información sobre frecuencia de inundación se considera fundamental, pero se analizará de forma reservada, ya que a pesar de ser fidedigna, no expresa una información completa para todas las localidades de la zona de estudio.

Los resultados de la investigación sobre la frecuencia de inundaciones arrojan que para el periodo de 1944 a 1997 (53 años), se han producido para la llanura de inundación del curso bajo del Río Papaloapan 67 inundaciones, registrando dichas afectaciones diferentes magnitudes.

Las inundaciones que han causado daños devastadores son las de 1944 y 1969, las áreas inundadas en tales eventos abarcaron 470,000 has y 340,000 has respectivamente (Morales, 1997); la última se produjo estando en funcionamiento la presa Miguel Alemán. Las otras inundaciones han sido de menores dimensiones, pero también han causado graves daños, y corresponden a los años: 1950, 1952 (junio, julio y agosto), 1954, 1955 (julio y septiembre), 1956 (julio y septiembre), 1958 (julio y octubre), 1960 (julio y

septiembre), 1961, 1972 (julio y agosto), 1973 (junio y septiembre), 1974, 1976 (junio y septiembre), 1978, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984 (junio y septiembre), 1985?, 1987 (julio y agosto), 1988 (julio y agosto), 1989, 1991, 1992 (agosto y septiembre), 1993 (julio y agosto), 1995 (agosto y octubre), 1996 (julio, agosto y septiembre), 1997 (julio, septiembre y octubre). Se puede observar que ocurren varias inundaciones en un mismo año y en algunos casos se repite el fenómeno hasta dos veces en un mismo mes.

AÑO	SUPERFICIE INUNDADA
1944	470 000
1958	195 000
1969	340 000
1975	162 000
1980	205 000
1981	210 000
1996	40 000

Tabla 17. Superficies inundadas

Las localidades que presentan una alta frecuencia de inundación corresponden a las ubicadas a lo largo de los cursos fluviales de los ríos Papaloapan y Tesechoacán. Las localidades con mayor frecuencia de inundación son Tlacotalpan para el Río Papaloapan y El Maguey para el Río Tesechoacán ambas con frecuencia de 11 inundaciones en el periodo comprendido entre 1944 a 1997.

Otras poblaciones que también figuran con una frecuencia de inundación importante son Cosamaloapan, Tlacojalpan y Tuxtilla las tres con un registro de 8 inundaciones y las localidades de las Hojas y San Luis con 9 y 10 inundaciones respectivamente.

Las cifras de mayor frecuencia de inundación según la información recopilada aparece de manera notoria sobre las corrientes de los ríos Papaloapan y Tesechoacán, lo cual se debe a que en las riberas de dichas corrientes se encuentran poblaciones de mayor importancia sobre todo para la primera; pero esto no quiere decir que sobre la corriente del Río San Juan no se lleve a cabo una alta frecuencia de inundación.

La información de la frecuencia de inundación es parcial para las localidades con población pequeña, ya que los diarios no reportan los daños por considerarlos menores.

La sobreposición de la cobertura de los datos de la frecuencia de inundación contra la cobertura del nivel de peligro "natural" de inundación para la zona de estudio, demuestra la observación anterior, ya que numerosas localidades del curso bajo de San Juan no contienen un dato de frecuencia alto, no obstante de encontrarse en un área de muy alto peligro "natural" de inundación (Figura 77).

Tabla 18. Localidades afectadas en los 67 eventos de inundación entre 1944-1997.

NO.	EVENTO METEOROLÓGICO Y FECHA	LOCALIDADES AFECTADAS (SARH, CNA, INF. HEMEROGRÁFICA)
1	Huracan I 19-22 SEP 1944	
2	Tormenta tropical 20-26 SEP 1949	
3	Huracan I 8-10 OCT 1950	Alvarado, Tuxtepec, Papaloapan, Otatitlán, Novillero, Boca del Río, Cosamaloapan, Gabino Barreda, La Granja, Tlacojalpan, Tuxtilla, Tlacotalpan, Chacaltianguis, Sta. Cruz, San Francisco
4	10-16 NOV 1950	Santa Cruz,
5	Huracán 13-17 JUN 1952	inundaciones totales : Papaloapan, Otatitlán, inun. Parciales : Tlacojalpan, Tuxtilla, Novillero, Moyota, Torno Largo
6	19-25 JUL 1952	Papaloapan, Otatitlán, Tlacojalpan, Tuxtilla, Paraiso, Novillero, Moyota, Torno Largo, Tlacotalpan, Tinajas, Chacaltianguis, Maguey
7	19 JUL 1952	Tuxtilla, Chacaltianguis
8	Aciclonamiento JUN-JUL 1954	poblaciones y rancherías de la región de Tuxtilla
9	Aciclonamiento 6-9 JUL 1955	
10	Tormenta tropical 4-6 SEP 1955	
11	Ciclones 8-18 JUL 1956	
12	Tormenta tropical 10-12 SEP 1956	
13	19-JUL 1958	Cda Alemán
14	3 Ciclones 10-19 OCT 1958	Chacaltianguis, Tlacojalpan, Tuxtilla y Papaloapan
15	Huracán 9-16 JUL 1960	Chacaltianguis
16	4 Ciclones 29 AGO 13 SEP 1960	
17	Ciclones 23 - 31 JUL 1961	30-JUL 1961 Chacaltianguis y San Andrés Tuxtla
18	Ciclones 18-31 AGO 1969	Cosamaloapan, Tlacotalpan, Otatitlán, Papaloapan y Tuxtepec Tlalixcoyan, Ignacio la Llave, Cda Alemán
19	Ciclones 5-11 SEP 1969	Otatitlán, Ignacio la Llave, Gabino Barreda
20	29 JUN 1972	
21	29 JUL 1972	Tlalixcoyan
22	19 AGO 1972	Tesechoacán, Villa Azueta
23	23 JUN 1973	Sta Teresa, Sta. Cruz y San Bartolo
24	1 al 15 SEP 1973	Villa Azueta, San Juan Evangelista
25	Depresión tropical 14-22 SEP 1974	Papaloapan, Playa Vicente, Villa Azueta, Tesechoacán, San Juan Evangelista y congregaciones circundadas, Tesechoacán,
26	Depresión Tropical 30 JUN 1976	Rancho San Simón, Rancho el Saladero, San Juan Evangelista
27	6-14 SEP 1976	Sahuesco y los ranchos La Isleta, Tenates, Azuzul Rancho Saladero Playa María, Juan Mochita, Cosamaloapan y San Juan Evangelista
28	Ciclón 22 SEP 1978	

29	Tormenta tropical 20-26 SEP 1980	
30	27 AGO 1981 Onda de Baja presión	inundación severa Soyalte, Valle nacional, Loma Bonita, Jacatepec, Otatitlán, Tuxtilla, Chacaltianguis, Tlacojalpan, Cosamaloapan, Villa Azueta, Tuxtepec, Tlacotalpan y Amatitlán
31	24-27 SEP 1982	
32	25 JUL 1983	
33	14 JUN 1984	El Maguey, Ejido Texexapa,
34	Tormenta tropical 14-15 SEP 1984	El Maguey, Pueblo Nuevo,
35	Onda Tropical 28 AGO 1985	
36	23 JUL 1987	Zonas bajas de Tlacotalpan
37	1 AGO 1987	Tlacotalpan
38	27 JUL 1988	
39	13 AGO 1988	San Francisco Oyozantle, Chacaltianguis, Tlacojalpan, Otatitlán, Novillero, Tomo Largo, Moyota y Cosamaloapan
40	27 SEP 1989	
41	27 AGO 1991	La Berta
42	14 SEP 1991	San Luis,
43	6-18 OCT 1991	Salta Barranca, Angel, R. Cabadas, Isla, San Andrés Tuxtla, Tlacotalapan y Tilapia,
44	29 JUN 1992	Arroyo El Soldado, Juachín, Lira, Moyota, Palmichal, Tomo Largo, El Encanto, Pepeapa, La Tinaja, Tlapa la pochota,
45	13 AGO 1992	Agua Fría, El Maguey, San Luis Viejo, Veracruzito, Las Hojas, El Jaramillo,
46	17-27 AGO 1992	El Guayabo, Agua Prieta, Las Garzas, Las Hojas, Las Pitas, San Luis, Santa María, Vara Honda, El Nanche, Los Cocos, El Coyolar, El Mosquito, Tenejapan, San Juan Evangelista, Juan Enríquez, Curazao, El Maguey, Manzanillo, Tesechoacán, Tenejapan, Cujuliapan, La Candelaria, La Peña, Las Delicias, Mata de Caña, Miguel López, Tlacotalpan, Pérez y Jiménez, La Guadalupe, El Gas
47	9-23 SEP 1992	El Coco, La Esperanza, Cujuliapan, Vara Honda, Villa Azueta inundado en la colonia Vazquez Vela y del Bosque, El Maguey, Abrevadero, Achichintla, Cerro de las Flores, La Mojarra, San Miguel Xochitl, El Marcial, Las Limas, Lázaro Cárdenas, Jobo Chico, Los Ángeles, Arroyo El Soldado, Mata de Caña, El Encanto, Paso de la Palma, Balboa, Ceibilla, Las Garzas, Las Hojas, Palo Blanco, La Peña, Las Pitas, Potrerillos, El Raudal, San Luis, Santa María, Solenilla, Chacal Nuevo, El Nanche, El Cerro, Las Mascayas, El Paraíso, San Simón, Palo Dulce, El Coyolar, Salta Barranca, Macuile, El Nopo, Agua Fría, Curazao, Jobo Grande, Juan García, El Maguey, Pueblo Nuevo, Tesechoacán, Veracruzito, Tenejapan, Tinaja de Mata, Las Cadenas, Tlacojalpan, Tlacotalpan, La Barranca, La Gallarda, Pérez y Jiménez, Sn. Antonio, La Nueva Era, San Jerónimo, Barro Bajo, La Candelaria, Playa Marina, San Juan Evangelista, Achotal, Bejucal, Carizal, Jaramillo, La Burrera, La Cadena, La Glonia, Mata, San Antonio, El Mosquito, Fco. Villa Marcial, Leyes de Reforma, Mazoco, Oro Verde, Vilora Viejo, Vuelta del Jobo, Ángel Carvajal, La Bugambilia, Los Amates, La Fuente, Miguel Alemán, Toteapa, La Candelaria Las Cadenas, Xuhitl 1 y Xuchitl 2, la Guadalupe. Cayetano Carballo, Consolación, Josefa Murillo, Mata Cabresto, Xochitl, Calaverna, Río Blanquillo, Luis Carballo, El Zapotal y La Paloma.

		Tilapa, Los Cocos y Playa medina La Laguna, La Guadalupe Chichimeco, Mulato, Nuevo Paraíso, Palomas, Tenates, Zacapesco, Rancho Alegre, Huluapeño, La Calavera, Casas Viejas, Consolación, El Marqués, Matabresto, Remolino de Pavan, San Modesto, Zapotal, La Paloma, Barranquillo, Candelaria, Cayetano Carballo, Josefa Murillo, La Carbonera, Luis Carballo, Xuchilt 1 y Xuchilt 2, Río Blanquillo, La Calavera, San Pedro, El Suchil, La Paloma, La Guadalupe, El Gas, El Remolino, Luis Carballo, Río Blanquillo, La Calavera, Consolación, El Marqués, Zapotal, Cayetano Carballo, Luis Carballo,
48	14-29 OCT 1992	Siete Congregaciones Los Cocos, Playa Medina, Cerro Torre, Uluapeño, Palmichal Tilapia, Juachín, Moyota, Palmichal, Tomo Largo, El Encanto, Beteapan,
49	28 JUN 1993	Llano Grande, Juan Enríquez, Juan García, San Luis Viejo, Las Hojas, Agua Fría Majagual, El Carrizal, El Coco, Jaramillo, La Candelaria, Mata de Caña, San Francisco, Santa Elena, Vázquez Vela,
50	Huracán 4-18 JUL 1993	Tlacojalpan, Alto Lucero, Puente Nacional, Cosamaloapan, Villa Azueta, Cda. Alemán, S. A. tuxtla, Tuxpan, Chacaltianguis, Playa Vicente, Papaloapan, Isla, Cuatotolapan, Cardel, Medellín, Temapache, Tuxtilla, Azuzul, La Berta, Chimecos, Nuevo Paraíso, Varas Prietas, Playa la Luz, San Basilio, Playa Jolote, San Bernardo, Huayozontle, Isla, 1 de Mayo, Fredepo, Hoja de Maíz, Playa Vicente, Santa Lucrecia, Tierra Blanca Viejo, Tilapia Tierra Blanca, Col. 20 de Nov. Arroyo Susana, Cerro Torre, Tilapia, Carolinas
51	10 AGO 1993	Playa Vicente, Villa Azueta, Chacaltianguis, San A. Tuxtla, Hueyapan de Ocampo, Boca del río, jaltipan, Ierdo de Tejada, Tlacotalpan, Acula, Amatitlan, Cosamaloapan, Las Garzas, Agua Fría, Jobo Grande, El Maguey, Pueblo Nuevo, San Luis Viejo, Veracruzito, Tenejapan, Las Hojas, Tinaja de Mata, Santa Margarita, El Coco, Jaramillo, Majahual, Sn Antonio, Vázquez Vela,
52	16-26 AGO 1993	La Lima, San Juan Evangelista La Pachota, Juachín, Balboa, Las Garzas, San Luis Nuevo, Las Hojas, Palo Blanco, Las Pitas, Poposoca, Potrerillos, Vara Honda, El Nanche, Culiapan, El Mosquito, La Esperanza, Marcial, Viloría Viejo, S. J. Papaloapan, Azuzul, La Berta, El Corte, Chimeco, Dos Bocas, Nuevo Paraíso, Las Palomas, Juan de la Luz, Varas Prietas, Zacapexco, Zopelican, Playa la Luz, Boca del Río, Los Pinos, Jobo Chico, Rancho Nuevo, San Basilio, Rancho Alegre, Playa Jolote, San Bernardo, La Guadalupe, Nuevo Mulato, Paso de Tía Alvina Río Blanquillo, Consolación, Matabresto, El Suchil, Zapotal, Calavera, Cayetano Carballo, Josefa Murillo, Luis Carballo Mata de Palma, La Isleta, Río Blanquito, Lerdo de Tejada, Las Amapolas, La Barranca, Cavema, La Candelaria, La Carbonera, Sn. José Cházaros, Matabresto, Remolino de Pavan, El Suchil, Hacienda Vieja, Lindavista, Morelos, Zapotal, La Guadalupe, Cerro de Pérez, Jiménez, Rosalía San Miguel Xochitl, Dos Bocas, El Amateco, Las Garzas, Las Hojas, Palo Blanco, Las Pitas, Potrerillos, El Raudal, San Luis, Santa Rosa, Chacal Nuevo, El Nanche, Las Playas, La Nueva Era, Mayacan, San Antonio, Santa Fe
53	4-14 SEP 1993	Tlacotalpan, Isla Playa María
54	28-29 SEP 1993	El Maguey

		Agua Fría, Jobo Grande, El Maguey, Pueblo Nuevo, San Luis Viejo, Veracruzito, Tenejapan, Jaramillo, Vázquez Vela,
55	1-5 OCT 1993	El Marcial, Las Garzas, Las Hojas, La Peña, Potrerillos, El Raudal, San Luis, Vara Honda, El Nanche, El Coco, Cujulapan, El Mosquito, San Juan Evangelista Lerdo de Tejada
56	05 NOV 1993	Abrevadero, Atzintla, Ciénega de Caballos, El Jicotál, La Mojarra, Poza Onda, San Miguel Xochitl
57	Depresión tropical 5-7 AGO 1995	20 AGO 1995 Jose Azueta, San Juan Evangelista, Tlalixcoyan
58	Depresión tropical 8-20 OCT 1995	S A Tuxtla y Alvarado
59	28 JUN 1996	Carlos A. Carrillo, Tilapia, Palmichal, Ejido Papaloapan,
60	21-25 JUL 1996	El Maguey y San Juan Evangelista S. A Tuxtla, Cuatotalpan, la Concha y la Palma
61	1 AGO 1996	Isla, 100m abajo E. Garro,
62	Huracan I 19-26 AGO 1996	Mun. José azueta, Isla, Tlacotalpan, Amatitlán, Cosamaloapan, Hueyapan de Ocampo y San Juan Evangelista Carlos A. Carrillo, Novillera, Pedregal, Paso Nuevo, Las Carolinas, San Francisco, Agua Fría, Jobo Grande, Juan García, Pueblo Nuevo, Tenejapan, Las Hojas, Playa, Las Margaritas
63	5 SEP 1996	Chacaltianguis, Otatitlán Tuxtilla, Tlacojalpan y Tlacotalpan
64	4 JUL 1997	Inundaciones partes aledañas al río
65	16 SEP 1997	El Maguey, Villa Azueta
66	2-OCT 1997	Villa azueta y San Juan Evangelista
67	16 OCT 1997	Alvarado (Col. las Aneas y Escolleras)

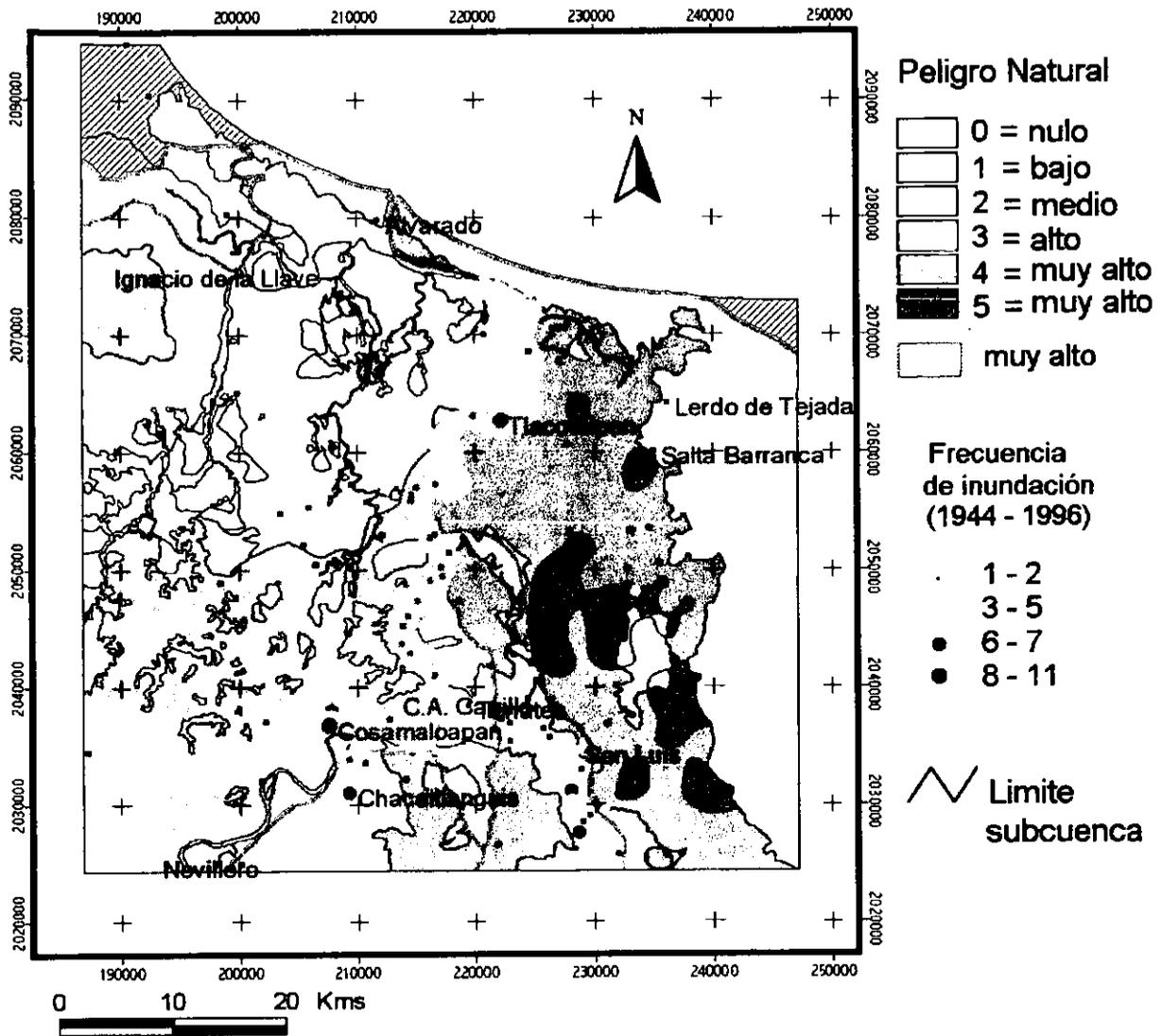


Figura 77. Sobreposición de la cobertura del Peligro “natural” de inundación y la de frecuencia de inundación para la zona de estudio.

## V. VULNERABILIDAD SOCIAL

Como se mencionó en el marco teórico, la vulnerabilidad social es la afectación que puede causar la presencia de inundaciones a la población, a viviendas, a las actividades económicas, así como a la infraestructura, siendo determinantes en los daños; la ubicación y el número de los habitantes de las localidades, los materiales que conforman las viviendas, el tipo de uso del suelo afectado, la distribución de las vías de comunicación y la protección o perjuicio que las obras de protección puedan generar a la población (Figura 78).

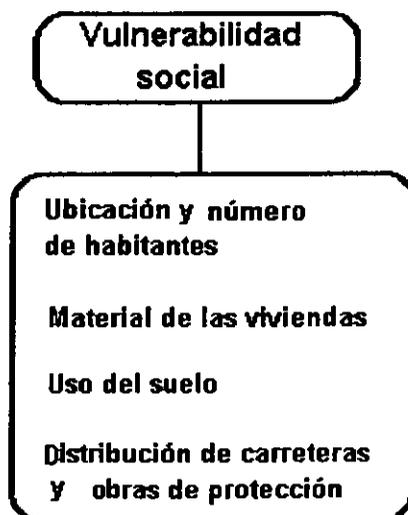


Figura 78. Esquema de la vulnerabilidad social

### V.1 UBICACIÓN Y NÚMERO DE HABITANTES

La distribución y cantidad de la población en un estudio sobre vulnerabilidad a inundación es fundamental para conocer cuáles localidades están en zonas con peligro alto de inundación y cuánta población pertenece a dichas localidades, estimando así la población expuesta a tal proceso.

La cuenca del Papaloapan cuenta con una población de 2,078,703 habitantes (INEGI, 1995), la densidad de la población se estima en 44.7 hab. / km<sup>2</sup>. En los tres estados que conforman la cuenca las cifras de la población y la densidad de la misma quedan de la siguiente manera:

CONCEPTO (1940)	Oaxaca	Puebla	Veracruz	Total
Número de habitantes en la cuenca	313,150	175,795	389,833	878,778
% sobre la población total cuenca	35.6	20.0	44.4	100.00
Densidad de la población en la cuenca	14	30	22.1	19.41

CONCEPTO (1995)	Oaxaca	Puebla	Veracruz	Total
Número de habitantes en la cuenca	541,835	374,846	1,162,022	2,078,703
% sobre la población total cuenca				100
Densidad de la población en la cuenca	23	67	67	44.7

Tabla 19. Número de habitantes y densidad de la población según los censos de 1940 y 1995.

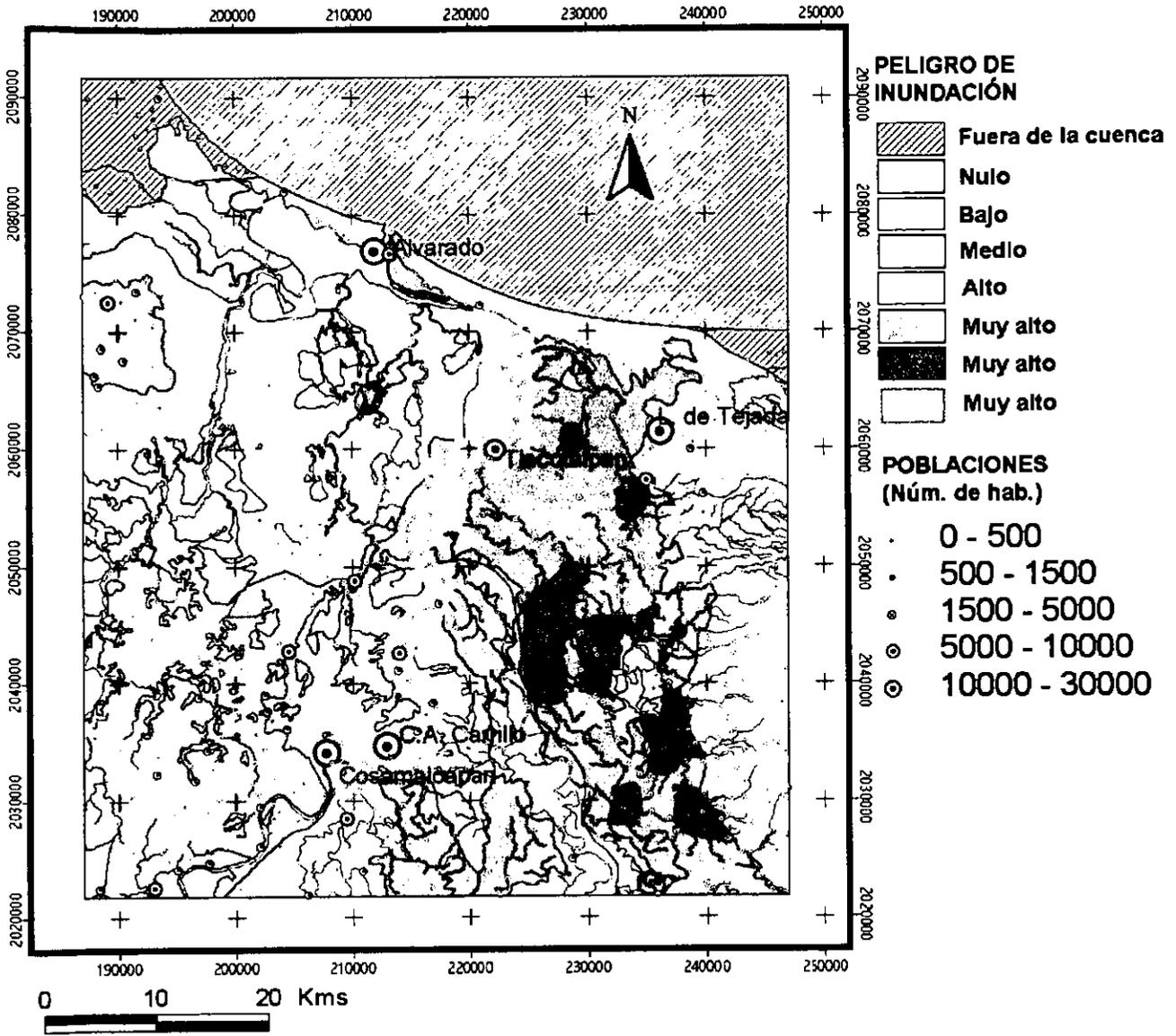


Figura 79. Número de habitantes y peligro "natural" de inundación

Desde luego, puede observarse que el estado de Veracruz contiene una mayor proporción de habitantes en la cuenca, pero es el estado de Puebla quien tiene la mayor densidad de habitantes esto para 1940, pero 55 años después es notorio el vertiginoso crecimiento de la población en la cuenca para el estado de Veracruz aumentando su población casi cuatro veces más de lo que registraba en 1940 y aumentando la densidad de la población de 22.1 hab. / km<sup>2</sup> a 67 hab. / km<sup>2</sup> en 1995.

En lo que corresponde a la zona de estudio la población cuenta con 184,507 habitantes (INEGI, 1995), donde las localidades más importantes son: Cosamaloapan (28,520 hab.), Alvarado (23, 776 hab.), Carlos A. Carrillo (19,135 hab.), Lerdo de Tejada (19,183 hab.), Angel R. Cabada (11,689 hab.), Tlacotalpan (8,853 hab.), Ignacio La Llave (4,574 hab.), Chacaltianguis (4,177 hab.) y Saltabarranca (3,248 hab.).

Las localidades de Cosamaloapan, Carlos A. Carrillo, Tlacotalpan e Ignacio La Llave se ubican en la margen izquierda del Río Papaloapan, ubicándose las tres primeras localidades en áreas de muy alto riesgo de inundación, mientras que Lerdo de Tejada, Angel R. Cabada, Salta Barranca se localizan en el piedemonte volcánico con riesgo nulo. Por su parte Alvarado se establece sobre las dunas costeras también con riesgo nulo y solamente Chacaltianguis se encuentra sobre la margen derecha con un alto riesgo de inundación.

En la margen derecha del Río Papaloapan en las llanuras altas de los Ríos Obispo y Tesechoacán las localidades no rebasan de forma general los 200 habitantes a excepción de Chacaltianguis, mientras para los Ríos San Juan Evangelista y Tecomate su población generalmente es menor de 100 habitantes por localidad (Figura 79).

La población ubicada en áreas con bajo riesgo de inundación en la zona de estudio se estima en 67,853 habitantes, mientras que los habitantes establecidos en zonas de riesgo medio son 6,905 hab., y finalmente la población establecida en zonas de alto y muy alto riesgo de inundación es de 57,353 hab., que corresponden a 274 localidades (Figura 89). Es importante mencionar que el 31% de la población de la zona de estudio se encuentra establecida en áreas con peligro "natural" de inundación alto y muy alto.

NIVEL DEL PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN	NO. POBLADOS	POBLACIÓN TOTAL 95	POBLACIÓN EN PORCENTAJE
NULO	166	52,396	28.4
BAJO	143	67,853	36.8
MEDIO	44	6,905	3.8
<b>Subtotal</b>	<b>353</b>	<b>127,154</b>	<b>69</b>
ALTO	137	19,759	10.7
MUY ALTO	137	37,594	20.3
<b>Subtotal</b>	<b>274</b>	<b>57,353</b>	<b>31</b>
<b>TOTAL</b>	<b>627</b>	<b>184,507</b>	<b>100</b>

Tabla 20. Número de habitantes y localidades ubicados en los diferentes niveles del peligro de inundación

Los municipios afectados por las inundaciones que año con año se producen son: Acula, Amatitlán, Carlos A. Carrillo, Cosamaloapan, Chacaltianguis, José Azueta, Otatitlán, Playa Vicente, San Juan Evangelista, Saltabarranca, Tlacojalpan, Tlacotalpan y Tuxtilla

## V.2 MATERIAL DE LAS VIVIENDAS

La constitución de los materiales de las viviendas en la zona de estudio es un parámetro importante de considerar cuando pensamos en el desarrollo de inundaciones, ya que entre más frágil sea el material que conforma a las casas, más vulnerable es ante una inundación y para sus moradores representa mayor peligro, además que en algunos casos trae como consecuencia la pérdida de su vivienda.

En este tema se recurre a la información que generó INEGI durante el censo de 1990, ya que para el conteo de 1995 esta información no es producida. INEGI presenta tres tipos de materiales para las viviendas que son: 1) casas con paredes de lámina de cartón o materiales de desecho, 2) casas con techos de cartón o materiales de desecho y 3) casas de concreto.

Para los dos primeros casos la vulnerabilidad ante la presencia de una inundación es alta porque para ambos los moradores no pueden refugiarse en el techo de sus casas ante el ascenso del agua; siendo para el primero aún más grave porque representa la pérdida total de la vivienda, y en el tercer caso la vulnerabilidad es menor en cuanto al peligro para sus moradores y a la pérdida de la vivienda.

Para la zona de estudio se tiene en los tres tipos de vivienda los siguientes datos:

<b>NUMERO DE VIVIENDAS CON PAREDES DE CARTÓN</b>	722	1.8%
<b>NUMERO DE VIVIENDAS CON TECHO DE CARTÓN</b>	4,387	11.2%
<b>VIVIENDAS DE CONCRETO</b>	34,393	87.0%
<b>TOTAL</b>	39,502	100%

Tabla 21. Cantidad y porcentajes de los tipos de vivienda en la zona de estudio (INEGI, 1990)

Se puede observar que en la zona de estudio predominan las casas de concreto con un 87 % , le siguen las de techo de cartón con un 11.2 % y finalmente representando sólo un 1.8 % del total de viviendas constituidas totalmente de cartón o materiales de desecho en la zona de estudio (Tabla 21). Tales datos muestran que la vulnerabilidad social de la población no es muy alta en el sentido que la gente puede refugiarse en sus techos en caso de contingencia y no se tiene una pérdida de la vivienda.

### V.2.1 Casas con paredes de lámina de cartón

En la zona de estudio se cuenta con 123 localidades que tienen viviendas de cartón, que suman en total 722 viviendas. Es importante ubicar dichas localidades junto a la información de los diferentes niveles del peligro de inundación (Tabla 22 y Figura 80).

De las 123 localidades con viviendas de cartón sólo 12 contienen más de 10 casas de cartón por localidad y sólo 6 se ubican en niveles altos y muy altos de peligro "natural" de inundación , que en total representan 241 viviendas de cartón.

NIVEL DE PELIGRO	NO. DE LOCALIDADES	NO. VIVIENDAS DE CARTÓN
Nulo	36	163
Bajo	30	292
Medio	7	20
Alto	27	111
Muy alto	23	136
<b>TOTAL</b>	<b>123</b>	<b>722</b>

Tabla 22. Número de localidades y viviendas de cartón en los diferentes niveles del peligro "natural" de inundación para la zona de estudio

NOMBRE	NÚMERO DE VIVIENDAS DE CARTÓN	UBICADAS EN UN NIVEL DE PELIGRO DE INUNDACIÓN
Salta Barranca	11	Nulo
Ignacio de la Llave	12	Bajo
El Zapote	12	Bajo
El Marqués	16	Muy alto
Paso Nacional	18	Muy alto
El Arbolillo	19	Nulo
Escolleras	29	Muy alto
Carlos A. Carrillo	54	Muy alto
Tlacotalpan	54	Muy alto
Cosamaloapan	70	Muy alto
Lerdo de Tejada	104	Nulo
Alvarado	126	Nulo

Tabla 23. Muestra las localidades con más de diez casas de cartón y la asignación del peligro "natural" de inundación.

### V.2.2 Casas con techos de cartón

El total de las localidades y viviendas que presentan techos de cartón corresponde a 274 localidades, donde 115 de ellas se encuentran en un peligro alto y muy alto, dichas localidades suman un total de 1,346 viviendas de este tipo. Y representan un 30.7 % del total de viviendas con techo de cartón (Tabla 24 y Figura 81)

NIVEL DEL PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN	NO. DE LOCALIDADES	NO. DE VIVIENDAS CON TECHO DE CARTÓN
Nulo	76	1523
Bajo	62	1342
Medio	21	176
Alto	57	411
Muy alto	58	935
<b>TOTAL</b>	<b>274</b>	<b>4,387</b>

Tabla 24. Muestra el número de localidades y viviendas con techo de cartón.

A pesar de que las viviendas con techo de cartón representan tan sólo el 11.2% del total de las casas en la zona de estudio, el 30% de este 11.2% se encuentra en áreas con un peligro de inundación alto y muy alto, donde los habitantes de estas viviendas en caso de inundación severa, no pueden refugiarse en sus techos y tendrán que pedir ayuda a sus vecinos que tengan viviendas con techo de concreto.

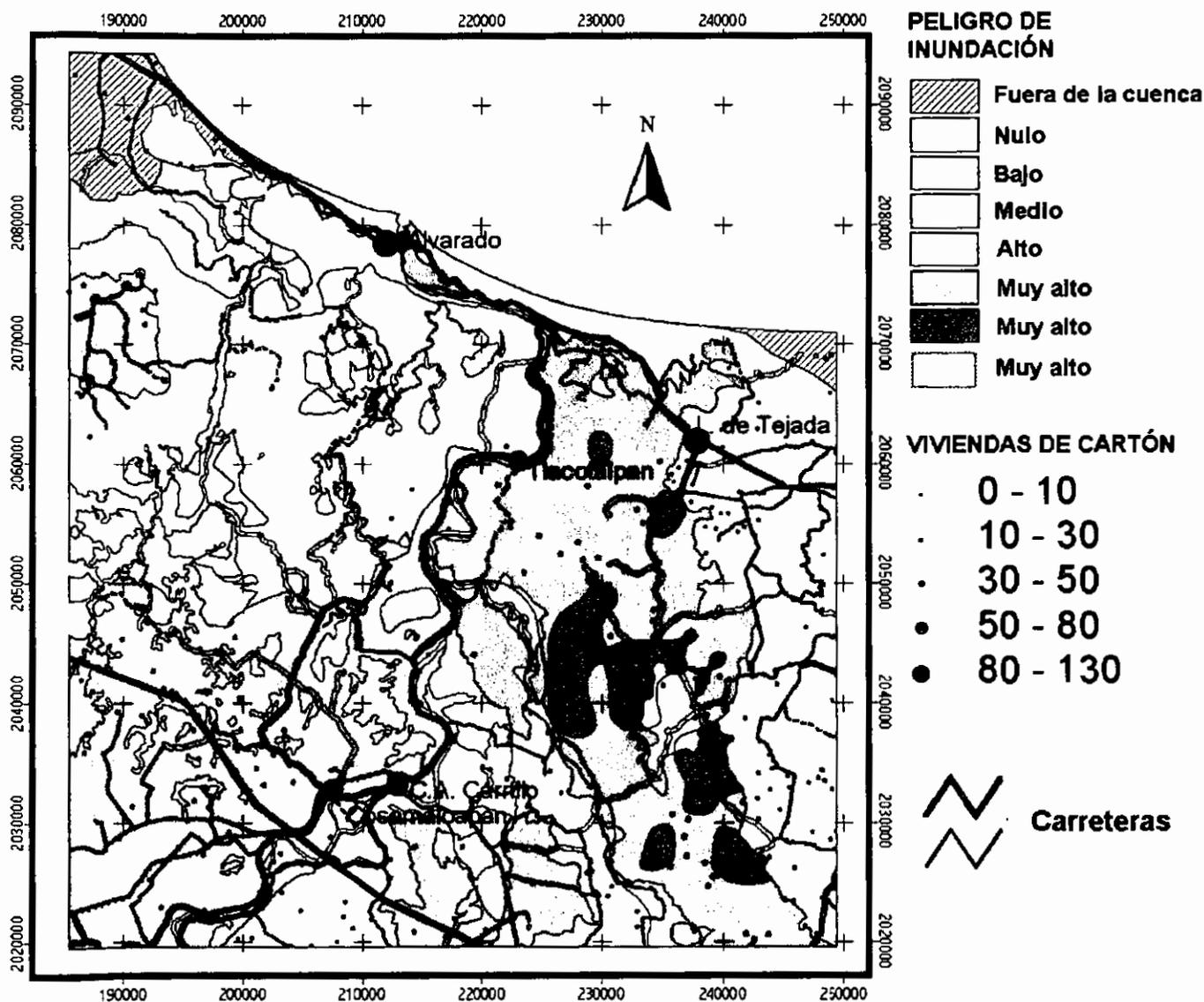


Figura 80. Número de viviendas de cartón o materiales de desecho y peligro "natural" de inundación

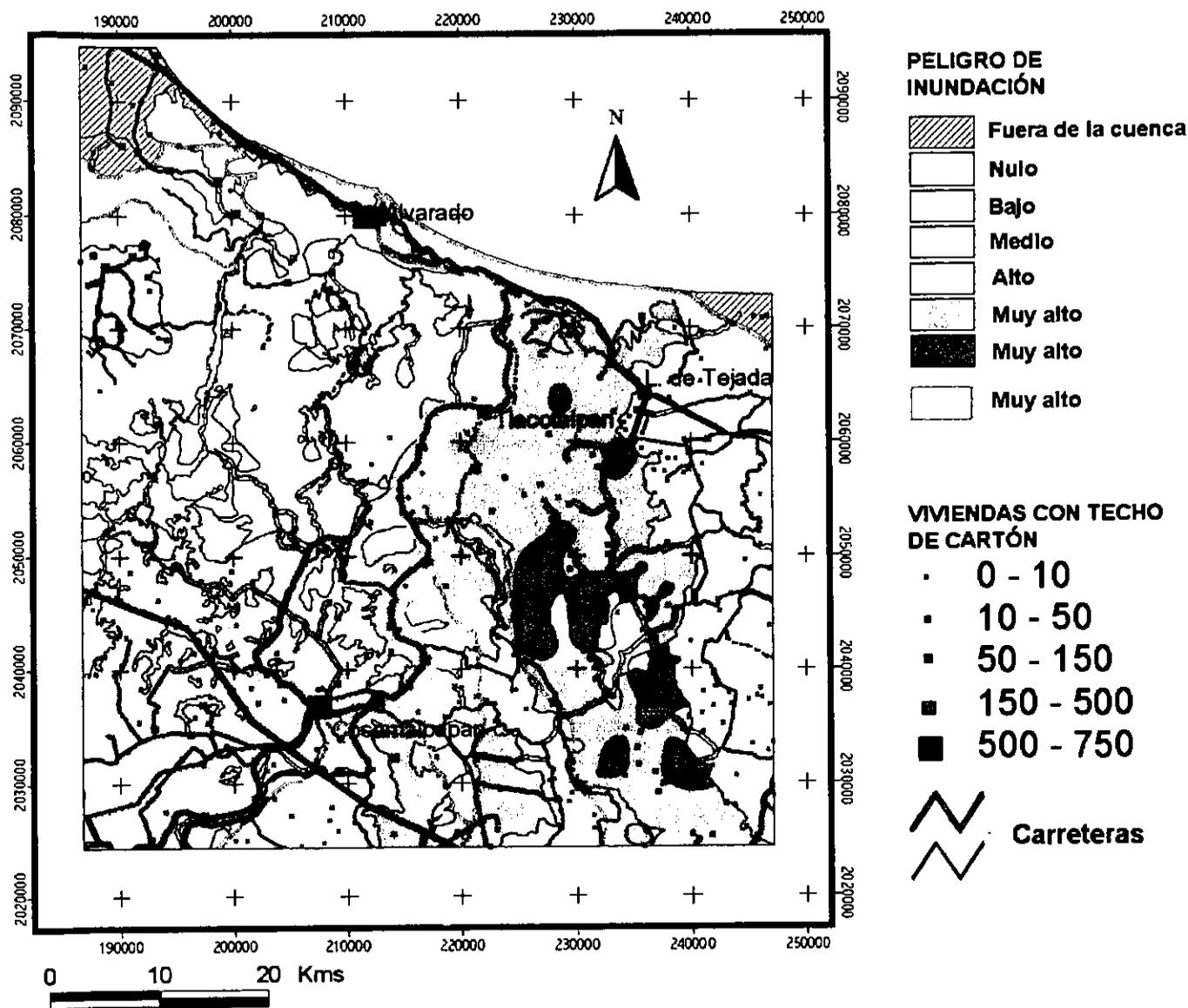


Figura 81. Número de viviendas de techo de cartón o materiales de desecho y peligro "natural" de inundación

La siguiente tabla muestra los nombres de 26 localidades que contienen más de 10 casas con techos de cartón, y en donde se puede apreciar que el aumento de casas con techos de cartón es considerablemente más grande de lo que representan las casas de cartón.

NOMBRE DE LOCALIDAD	NO. VIVIENDAS CON TECHO DE CARTÓN	DE CON DE	NIVEL DE PELIGRO NATURAL INUNDACIÓN	DEL DE
San Isidro	10		Muy alto	
La Tunilla	10		Muy alto	
Cerro de Torres	11		Muy alto	
Punta de Tlalapa	11		Alto	
Benito Juárez	12		Muy alto	
Punta Limón	12		Alto	
Costa de San Juan	12		Alto	
Cala Larga	13		Alto	
Arroyo de Su	14		Muy alto	
Pérez y Jiménez	14		Muy alto	
El Cocuite	15		Muy alto	
Vicente Guerrero	16		Muy alto	
Chocotán	16		Muy alto	
Venustiano Carranza	23		Muy alto	
Dos Bocas	24		Muy alto	
Cerro Colorado	27		Muy alto	
Conejo Blanco	29		Muy alto	
El corte	34		Muy alto	
San Francisco	35		Muy alto	
Amatitlán	39		Muy alto	
Chacaltianguis	86		Alto	
Escolleras	91		Muy alto	
Paso Nacional	105		Muy alto	
Tlacotalpan	170		Muy alto	
Carlos A. Carrillo	474		Muy alto	
Cosamaloapan	749		Muy alto	

Tabla 25. Presenta las localidades con más de 10 casas con techos de cartón y el nivel de peligro de inundación.

### V.3 USO DEL SUELO

La utilización económica del suelo se relaciona con la distribución de la vegetación, así como las modificaciones que ha sufrido ésta. La llanura baja del Río Papaloapan al no presentar vegetación original (a excepción de la zona costera de manglar y tular), en ella se establecen actividades agropecuarias como el cultivo de caña de azúcar y el de pastos para el ganado.

Por eso en este apartado sólo se tratará del uso del suelo como elemento de afectación en caso de ocurrir inundaciones, considerando el riesgo de inundación, en función de la distribución del uso del suelo en los diferentes niveles del peligro natural de inundación y

por tanto del tamaño del área productiva pérdida, en caso de ocurrir alguno de los escenarios hidrometeorológicos descritos anteriormente.

### V.3.1 Agricultura

En el curso bajo del Río Papaloapan son tres tipos de cultivo agrícola predominantes: 1) el cultivo comercial de la caña de azúcar, 2) el de manutención que consiste en la producción de maíz, frijol, chile y arroz y por último 3) el de los pastos para la alimentación del ganado.

El cultivo de caña de azúcar es el más importante en la llanura baja del Papaloapan, pues abarca una enorme extensión, debido a las características de resistencia que presenta ante la humedad. A diferencia los cultivos de manutención son más sensibles a la humedad y presentan mayores pérdidas en caso de inundación.

Por otro lado, el 90% de los agricultores prefieren el cultivo de caña de azúcar, porque los ingenios además de asegurar la producción, dan prestaciones médicas a los campesinos y a sus familias con sólo tener plantada una hectárea. Además que el cultivo de caña de azúcar es el único cultivo asegurado en cuanto a pérdidas debidas a inundación (Jacome, 1979).

El cultivo de caña de azúcar se lleva a cabo con diferentes variedades algunas de ellas, más resistentes a las inundaciones que otras. Por ejemplo la variedad llamada 310 soporta 2 meses de inundación a un metro de altura; le sigue la variedad Mex 55 con 4 meses de inundación, pero a 20 cm de altura del nivel del agua.

Esto muestra que el cultivo de caña de azúcar en la zona de estudio se encuentra adaptado a presencia de inundación considerando ciertos límites como la altura y permanencia de la columna de agua. Pero también es importante señalar que sin la presencia de inundaciones los rendimientos de la producción agrícola son mejores (Tabla 26).

Ejido	Inundada Ton/ha	Sin inundaciones Ton/ha	Diferencias en rendimientos Ton/ha
Tuxtilla	42.5	90.0	48.5
Torno Largo	62.5	80.0	17.5
Chacaltianguis	55.0	72.0	17.0

Tabla 26. Rendimientos de la caña de azúcar con y sin inundación (tomada de Jacome, 1979).

Los cultivos de manutención producen dos cosechas anuales, una de temporal y otra de invierno (tonalmil); pero este último tiene rendimientos muy superiores ya que no presenta inundaciones. Teniendo que para el cultivo de maíz de temporal se lleva 90 días y para el tonalmil 120 (Jacome, 1979).

En la zona también se tienen plantaciones de mango y plátano, ambos se siembran en las vegas de los ríos, terrenos altos, planos y sin problemas de drenaje.

La superficie cultivada en la zona de estudio varía con respecto a toda la llanura baja, teniendo que la caña de azúcar ocupa el segundo lugar con 73, 802 ha, mientras que el primer lo presentan los pastos cultivados con 115,217 ha, debido a que la zona de estudio ocupa la porción más baja de la llanura de inundación del Río Papaloapan.

Los pastos cultivados ocupan una mayor superficie en la zona de estudio. Se distribuyen tanto en la margen izquierda como en la margen derecha del Río Papaloapan, localizándose en áreas con niveles de inundación bajos, medios y altos, en el caso de la margen izquierda y constituyendo un corredor con niveles muy altos de peligro "natural" de inundación para la margen derecha donde se ubican las corrientes de los ríos San Juan Evangelista y Tecomate (Figura 82).

También encontramos pastizales cultivados en zonas con niveles de peligro de inundación alto y muy alto en la zona entre los Ríos Obispo y Tesechoacán. Las superficies afectadas en los cultivos de pastos según el mapa de peligro "natural" de inundación muestra los siguientes resultados (Tabla 27).

Los pastos más comunes son el camalote (*Paspalum fasciculatum*) como pasto natural y el pará (*Panicum purpurascens*) como pasto cultivado, ambos soportan las inundaciones mientras no sean inundados totalmente o por periodos de tiempo largo. Los zacates pangola (*Digitaria decumbens*) y estrella africana (*Cynodon Plestoctachyum*) también soportan la inundación, pero por periodos no mayores a 15 días.

USO DEL SUELO	NIVELES DE PELIGRO "NATURAL"					TOTAL EN HA
	Nulo ha y %	Bajo ha y %	Medio ha y %	Alto ha y %	Muy alto ha y %	
Pastizal cultivado	2,892 (2.5 %)	27,434 (39.5 %)	5,897 (26.6 %)	23,701 (22.9 %)	55,293 (68.3 %)	115,217
Agricultura de Temporal	0	41,962 (60.5 %)	8,049 (36.3 %)	23,437 (22.6 %)	354 (0.4 %)	73,802
Pastizal cultivado y Agricultura de temporal	39,859 (74.1%)	0	0	0	0	39,859
Popal-tular	0	0	0	30,643 (29.6 %)	4,581 (5.7 %)	35,224
Tular	0	0	0	2,611 (2.5 %)	19,317 (23.9 %)	21,928
Manglar	0	0	0	23,018 (22.2 %)	1,336 (1.6 %)	24,354
Pastizal inducido	11,014 (20.5%)	0	0	0	0	11,014
Selva Alta perturbada	0	0	8,204 (37.0 %)	254 (0.2 %)	90 (0.1 %)	8,548
<b>SUBTOTAL</b>	<b>53,765</b>	<b>69,396</b>	<b>22,150</b>	<b>103,664</b>	<b>80,971</b>	<b>329,946</b>

Tabla 27. Superficies del uso del suelo y los niveles del peligro "natural" de inundación.

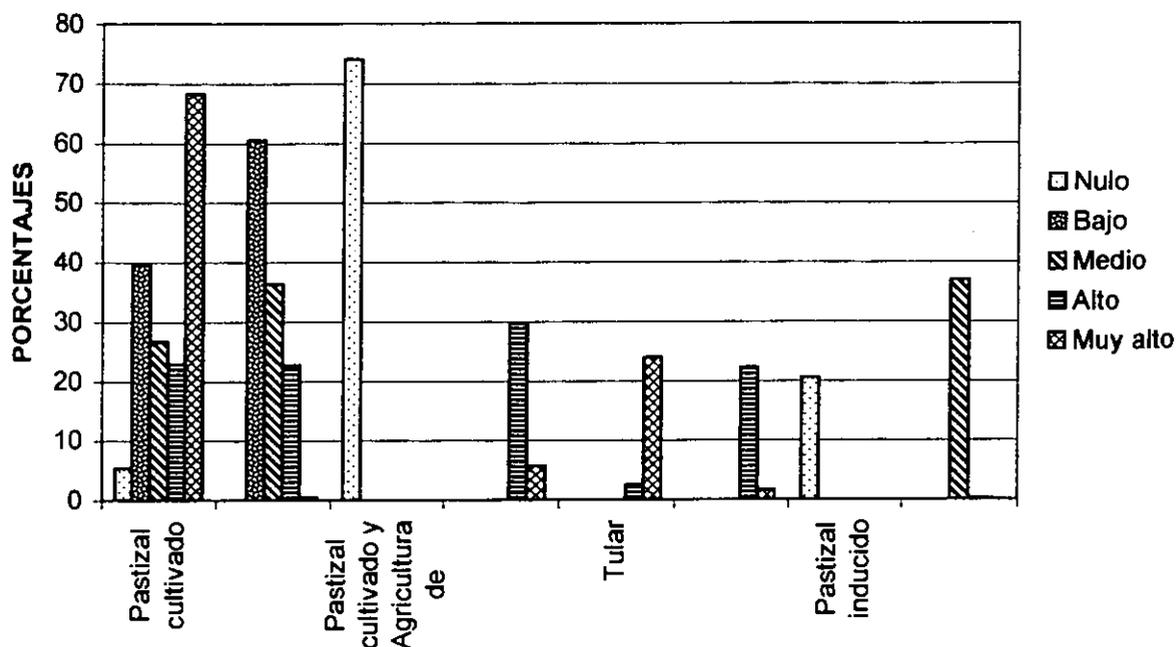


Figura 82. Porcentajes de los niveles “naturales” del peligro natural de inundación en función de las superficie de los usos del suelo que los conforman.

La agricultura de temporal se localiza en las márgenes izquierda y derecha del Río Papaloapan, en donde para la primera margen los cultivos se establecen sobre áreas con peligro “natural” de inundación bajo; mientras que por la margen derecha en lo que constituyen las llanuras fluviales de los ríos Obispo y Tesechoacán el nivel de inundación es alto y en pequeñas zonas el peligro es medio (Figura 83).

También con un nivel bajo de peligro de ser inundado se encuentra zona agrícola que rodea la población de Ignacio La Llave (Figura 83).

La superficie de agricultura con peligro de inundación medio, alto y muy alto suma un total de 31, 840 ha, mientras que la superficie cultivada con peligro bajo es de 41, 962 ha (ver Tab.27). Los cultivos principales son de caña de azúcar y ocupando una menor superficie el arroz, maíz y frijol.

La vegetación de manglar casi totalmente se ubica sobre áreas de peligro de inundación alto y sólo pequeñas superficies corresponden a niveles muy altos de inundación. Mientras para el popal- tular se encuentra dividido una gran superficie que corresponde a la margen izquierda que mantiene un nivel alto de peligro de inundación y la margen derecha con una superficie muy reducida de popal-tular, la cual se establece en un nivel de muy alto peligro de inundación.

La vegetación de tular se establece solamente sobre la margen derecha del Río Papaloapan en los cursos bajos de los ríos Tesechoacán, San Juan Evangelista y Tecomate, los manchones de dicha vegetación presentan todos ellos, un nivel muy alto de peligro de inundación (Figura 83).

Los remanentes de la selva alta perturbada se ubican preferentemente sobre la margen izquierda del Río Papaloapan estableciéndose sobre superficies con un peligro de inundación medio ocupando tan sólo 8, 204 ha para ese nivel.

Y por último la vegetación de pastizal inducido ubicado sobre las dunas costeras y el pastizal cultivado junto con la agricultura de temporal establecidos en el piedemonte volcánico corresponden todos ellos a un nulo peligro de inundación.

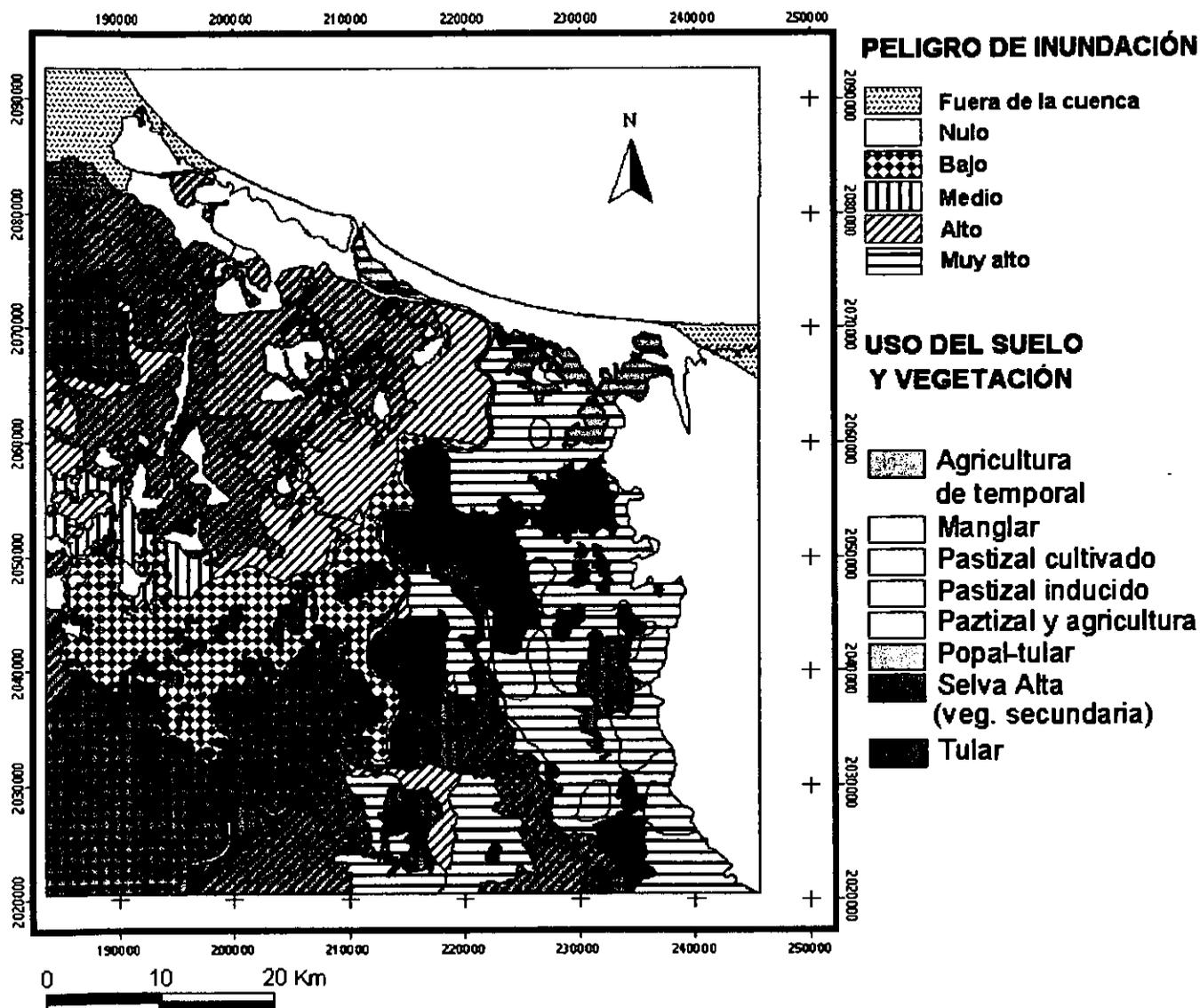


Figura 83. Uso del suelo y peligro “natural” de inundación

### V.3.2 Ganadería

La zona de estudio alberga un importante número de cabezas de ganado bovino, pues como ya se había mencionado en la introducción, el estado de Veracruz posee el mayor número de cabezas de ganado bovino de todo el país. Siendo la llanura baja del Papaloapan el área que presenta el mayor número con respecto al estado de Veracruz.

La explotación del ganado está orientada al abastecimiento de carne de la demanda local y nacional, enviándose para ser sacrificado a la ciudades de Tuxtepec en el estado de Oaxaca, Orizaba y Cordoba en Veracruz y por último al Distrito Federal (SARH, 1977).

Las condiciones ambientales que presenta el estado no son adecuadas para el ganado lechero debido a las altas temperaturas, sequías de más de 6 meses, falta de forraje y presencia de enfermedades (Jacome, 1979).

Las principales razas existentes son las cebús, brahama, guzerat, gyr, y la cruce entre éstas dos últimas genera la raza indobrasil. El coeficiente de agostadero, se entiende por la superficie requerida por una cabeza de ganado para subsistir, en el bajo Papaloapan varía de 2 a 2.5 cabezas /ha.

La ganadería constituye después de la agricultura la segunda actividad económica más importante, la cual también se ve afectada al ocurrir las inundaciones trayendo como consecuencia el desplazamiento del ganado en busca de tierras más altas durante el lapso que permanece inundada la región.

El tiempo que el ganado tiene que permanecer fuera de su lugar de origen va de 2 a 4 meses regularmente. El ganado sale entre los meses de julio y agosto, con el fin de ponerlo a salvo y además de permitir que el pasto alcance mayor altura y pueda sobrevivir la inundación (Jacome, 1979 y encuestas en campo).

## V.4 DISTRIBUCIÓN DE CARRETERAS

Las carreteras al mismo tiempo que se utilizan como vías de transporte forman parte de las obras de protección como se mencionará más adelante, la ubicación y trayectoria de las carreteras dentro de las unidades naturales es fundamental, ya que en función de la localización en la que se encuentren, dependerá el daño que puedan sufrir ante los procesos de inundación.

En la zona de estudio las carreteras se distribuyen paralelas a los cursos fluviales por alguna de sus márgenes. Se tienen desde carreteras pavimentadas, terracerías transitables todo el año, brechas y veredas.

### V.4.1 Carreteras pavimentadas

Las carreteras pavimentadas en la zona de interés se ubican sobre la llanura fluvial alta de la margen izquierda del Río Papaloapan, el piedemonte volcánico, las dunas costeras y en el extremo suroeste de la zona de estudio la super autopista La Tinaja - Acayucan.

La super autopista la Tinaja – Acayucan se distribuye solamente en una esquina de la zona de estudio, ubicándose la mayor parte sobre la llanura fluvial alta tanto de la margen derecha e izquierda del Río Papaloapan a la altura de la desembocadura del Río Obispo que corresponde a un nivel bajo de inundación, sin embargo se tiene una pequeña porción en la llanura baja con un riesgo de inundación muy alto (Figura 84).

La carretera pavimentada que corre paralela a la margen izquierda del Río Papaloapan, es el eje de las comunicaciones norte-sur en la región, se distribuye sobre un nivel del peligro de inundación bajo por asentarse sobre la llanura fluvial alta, pero al correr paralela al curso del Papaloapan; coloca a la infraestructura carretera con un nivel muy alto de peligro de inundación, además cuando las aguas se desbordan sobrepasan el bordo que constituye la carretera inundando la porción posterior de la misma, quedando atrapada el agua (Figura 84).

La carretera principal constituye una vía de comunicación en la zona, pero además sirve como bordo de protección para las localidades, sin embargo al correr paralela al curso fluvial, tienen la desventaja, que cuando la margen erosiva del río apunta en dirección a la carretera; está sufre la socavación de la base produciéndose el desplome de la misma (ver Figura 84).

La carretera ha sido protegida para evitar los procesos de socavación y la mayoría de los bordos protegidos coincide con poblaciones que se establecen en la ribera del río. Las localidades que cuentan con algún tipo de protección suman 23, correspondiendo a localidades con un número de población importante. Pero decenas de localidades con una población menor a 50 habitantes, se encuentran con riesgo de un colapso de la red carretera. Por otro lado las localidades que si rebasan los 80 habitantes y que se encuentran con el mismo peligro son: El Corte (2,218 hab.), Venustiano Carranza (647 hab.), Vuelta de Zopelicano (606 hab.), Ex Carolina (450 hab.), Pérez y Jiménez ( 392 hab.), Vicente Guerrero ( 362 hab.), Nueva Era ( 149 hab.), Nuevo Paraíso (141 hab.), La Carbonera ( 117 hab.), Bugambilia ( 106 hab.), San Antonio ( 96 hab.), Santa Fé ( 89 hab.).

Por otro lado son numerosos los tramos carreteros a lo largo de la carretera principal, que aún cuando no se encuentre ninguna población adyacente a ella, sufren desplomes impidiendo la comunicación de las principales localidades del curso bajo del Río Papaloapan (ver Figura 85 )

La carretera principal pavimentada que corre a lo largo de la margen izquierda del curso del Río Papaloapan, cruza desde Tuxtepec en el estado de Oaxaca hasta Tlacotalpan atravesando la laguna hacia Alvarado en Veracruz, mantiene una longitud de 80 Km.

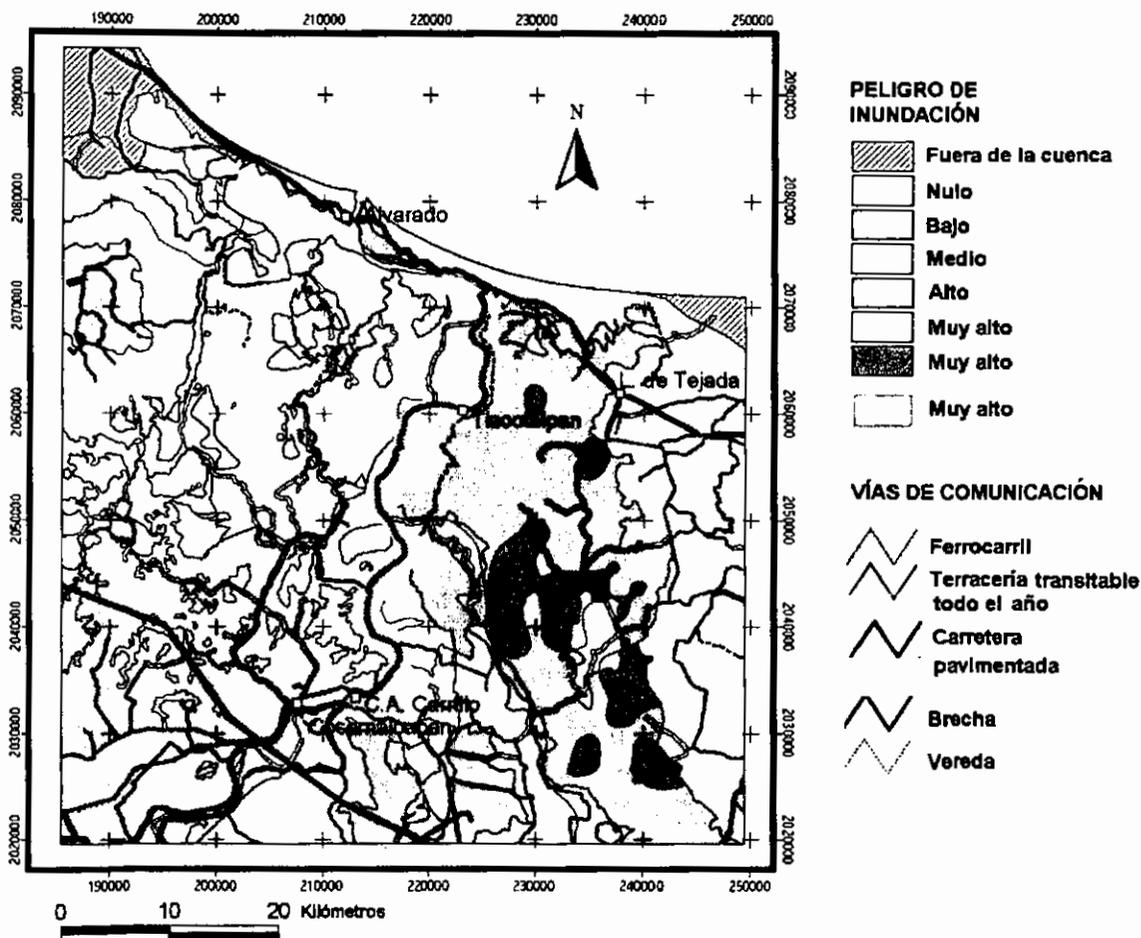


Figura 84. Distribución de carreteras y peligro "natural" de inundación



**Figura 85. Carretera de Tuxtepec a Tlacotalpan a la altura de Boca del Río.**

También sobre la llanura fluvial alta se distribuye la carretera pavimentada que va de Cosamaloapan a Villa Acuña, estableciendo sobre superficies con un nivel bajo de peligro de inundación (Figura 84).

Las carreteras pavimentadas que corren sobre el piedemonte volcánico y las dunas costeras se ubican en un nivel nulo del peligro “natural” de inundación (Figura 84).

#### V.4.2 Carreteras de terracería

La mayor longitud de las carreteras de terracería transitables todo el año se distribuye sobre la llanura fluvial alta tanto de la margen izquierda como derecha del Río Papaloapan, así como en la llanura fluvial alta de los ríos Obispo y Tesechoacán. En la margen izquierda del Río Papaloapan este tipo de carreteras se ubican sobre un nivel bajo del peligro de inundación; mientras para la margen derecha se ubican primordialmente en un nivel alto en las llanuras altas de los Río Obispo y Tesechoacán. Y con una longitud más reducida entre esas dos corrientes la red carreteras se ubica en un nivel muy alto del peligro de inundación (Figura 84).

La trayectoria de este tipo de vía no sólo es paralela al curso fluvial también siguen una red irregular interconectada, se encuentran carreteras de terracerías en el piedemonte volcánico de los Tuxtlas que corresponden a un nivel nulo y en la llanura alta de la

localidad de Ignacio La Llave se encuentran carreteras de terracería con nivel bajo de peligro de inundación.

#### V.4.3 Caminos de brecha

Los caminos de brecha ocupan principalmente áreas con niveles altos y muy altos de peligro natural de inundación, correspondiendo a las llanuras bajas de los Ríos San Juan y Tecomate, llegando hasta conectar en una porción a los tres ríos de la margen derecha (Figura 84).

Los caminos de brecha se encuentran en la zona palustre y lagunar del Río Acula con niveles de inundación altos, el camino conecta a la localidad del Cacique. Otras brechas tienen su límite con las llanuras lagunares de manglar en la localidad de Paso la Mojarra, siguiendo el curso del Río Acula y uniendo la población de Tlacotalpan con la localidad de la Paloma.

Los caminos de brecha con un recorrido menor se localizan en la margen izquierda del Río Papaloapan sobre las llanuras fluviales altas con un nivel de inundación bajo esta brecha llega a conectar a la localidad de Chalpa (Figura 84).

#### V.4.4 Veredas

Las veredas tienen una distribución muy pequeña en la zona de estudio se establecen tres recorridos, dos de ellos se distribuyen en las llanuras lagunares correspondiendo a un nivel de inundación alto: El primero une las localidades de Paso Platanar, la Argolla y Costa de San Juan. El segundo conecta la localidad de Paso la Mojarra con Plaza de Armas y el tercero que se ubica sobre las llanuras fluviales bajas de la margen derecha del Río Papaloapan con nivel de inundación muy alto une las localidades de El remolino, el Uvero, Boca de Martintela, La Calaverna y Corea (Figura 84).

### V.5 OBRAS DE PROTECCIÓN

Debido a su frecuencia las inundaciones siempre han sido motivo de preocupación y afectación para los moradores de la llanura del Papaloapan. Sin embargo fue hasta el meteoro de septiembre de 1944, cuando por decreto federal se pusieron en marcha importantes medidas sobre el control de las inundaciones. Entre ellas destacan la construcción de presas, rectificación de ríos, la construcción de bordos de protección marginal, bordos perimetrales y la aplicación de colchacreto en la margen de socavación de meandros fluviales en algunos sitios donde se tienen localidades importantes.

Las medidas de control para la inundaciones formaban parte de un plan integral a largo plazo en toda la cuenca, inicialmente este plan contemplaba numerosos proyectos entre ellos construcción de obras de ingeniería, proyectos de conservación del medio ambiente y actividades para el desarrollo económico de las comunidades establecidas en la cuenca. En un principio el financiamiento fue fluido hasta los primeros 15 años de la creación de la Comisión del Papaloapan, sin embargo en los años restantes, muchos de los proyectos no se llevaron a cabo, otros quedaron incompletos y /o fueron insuficientes.



Los cortes del curso original del Río Papaloapan hicieron posible aumentar la capacidad de conducción del río de 2, 500 m<sup>3</sup>/s a 3, 600 m<sup>3</sup>/s, esto es un 44% adicional, lo cual significó en distancia la reducción del recorrido de 186 km de longitud a 136 km, es decir 50 km menos, tan sólo con 8.8 Km de obras (SARH, 1990).

#### V.5.2 Canales de alivio

Se llevó a cabo de 1953 - 1956 la excavación de un canal, que desfoga las aguas excedentes del Río Papaloapan a la altura de la localidad de Tlacojalpan, llegando al Río Coapa, el cual desemboca en la laguna de María Lizamba, la cual a su vez destina su descarga en la Laguna de Alvarado.

#### V.5.3 Corrección de torrentes y retención de azolves

La gran carga de sedimentos aportada por el Río Santo Domingo, hizo necesaria la retención de estos, aguas arriba en distintas subcuencas de los tributarios de los ríos Grande y Salado, por medio de la construcción de pequeñas presas llevadas a cabo desde 1955, se pensaba que serían de gran eficiencia porque al disminuir la pendiente y alargar hidráulicamente la longitud del cauce, ocasionaría una disminución del acarreo y del pico de avenidas, teniendo así un alargamiento en los tiempos de concentración en la cuenca baja. Pero muchas de éstas presas no resistieron el tremendo impacto de las avenidas y las que subsistieron y lograron su objetivo son pocas.

#### V.5.4 Obras de recuperación

Se realizaron prácticas de desecación en áreas de terrenos bajos donde se acumulaba el agua (pantanos), se realizó una experiencia piloto en la isla de Candelaria aldeaña a Tlacotalpan en el periodo de 1953-1956. Posteriormente se realizó un proyecto similar en la laguna los Amates la cual fue confinada en 1971; prosiguieron este tipo de trabajos en tierras bajas cercanas a las poblaciones de Papaloapan, Las Peñitas, Nvo. San José Independencia, Otatitlán, Chacaltianguis, Carlos A. Carrillo, Cosamaloapan y Azueta.

#### V.5.5 Bordos de protección

Otra medida fue la construcción de bordos de protección en ambas márgenes del Río Papaloapan. El primero protege toda la margen izquierda, desde Tuxtepec, Oax. Hasta Buenavista, Ver. Con una longitud de 119 km, un ancho de 11 m y una altura promedio sobre el nivel del mar de 2 m.

Los objetivos de esta obra son 1) aumentar la capacidad del cauce del Río y al mismo tiempo proteger el desbordamiento de las aguas fluviales y 2) como vía de comunicación de primer orden. El terraplén está formado de material limo-arcilloso, compactado, excepto en los tramos de los libramientos de los Amates, La Guadalupe, Pérez y Jiménez, San Jerónimo y Boca del Río, poblaciones donde el bordo fue destruido por la socavación del curso fluvial y posteriormente se volvieron a construir los bordos pero ahora sobre una base de arena, la cual si se rompiera nuevamente dejaría incomunicadas dichas localidades.

El segundo bordo fue el de la margen derecha, que arrancó de un punto cercano a Papaloapan, Oax. Se prolongó hasta Chacaltianguis, Ver. con 51 km de longitud, 6 m de ancho y 2 m de altura media, se utiliza de vía de comunicación entre las poblaciones de Pueblo Nuevo, Otatitlán, Tuxtilla, Tlacojalpan y Chacaltianguis. Esté último se prolongó posteriormente hasta la altura de la población de Carlos A. Carrillo con 16 km más de longitud.

La construcción de los bordos de protección en ambas margenes del Río Papaloapan crearon una capacidad de drenaje de hasta 5, 000 m<sup>3</sup> /s (SARH, 1990). Pero debido a la aportación de azolves de la cuenca alta se ha reducido a 2, 500 m<sup>3</sup>/s en el tramo Tilapa-Los Cocos (Morales y Méndez, 1997).

La segunda corriente fluvial que cuenta con bordo de protección es el Río Tesechoacán, el cual fue construido en su margen izquierda y une las poblaciones de Villa Azueta a la localidad de el Bejucal, alcanzando una longitud de 30 Km.

Y por último la tercer corriente en donde se construyó un bordo de protección es el Río Las Pozas con una longitud de 10 km.

#### V.5.5 Bordos perimetrales

Los bordos de protección marginal no cubrieron las localidades establecidas en las riberas del curso del Río Papaloapan, para ello se construyeron bordos perimetrales en las siguientes localidades (Tabla 29)

LOCALIDAD	LONGITUD EN METROS
<b>RÍO PAPALOAPAN</b>	
Novillero	2, 500
Tlacojalpan	3, 500
Chacaltianguis	5, 400
Carlos A. Carrillo	4, 000
Amatitlán	1, 400
Tlacotalpan	1, 300
Papaloapan	2, 700
Santa Teresa	1, 800
Tlacotalpan (laguna Candelaria)	10 800
<b>RÍO TESECHOACAN</b>	
José Azueta	1, 800
Tesechoacán	2, 500
Garro	2, 100
<b>RÍO VALLE NACIONAL</b>	
Playa Bruja	400

Tabla 29. Localidades donde se construyeron bordos perimetrales

Los bordos de protección y perimetrales en las grandes avenidas en lugar de ser benéficos han resultado un serio problema, porque cuando las altos gastos hidrométricos rebasan los bordos, las aguas ya no pueden regresar a su curso original, quedando estancadas al otro lado del bordo en donde se encuentran tanto las poblaciones como las zonas agrícolas que se pretendían proteger con dichas obras.

Se tiene registro en años anteriores a la construcción de los bordos que la duración de las inundaciones se contaba en días y posteriormente llegaron a mantenerse hasta un mes. Según información personal con habitantes del lugar el agua se desalojó durante la inundación de 1944 que fue la causante de los mayores daños, en un periodo de 4 días en la zona de la desembocadura del Río Obispo, mientras que para la inundación de 1969, en donde ya se encontraban las obras de protección, el agua quedó estancada 42 días (Jacome, 1979)

Por otro lado como se mencionó anteriormente los cursos fluviales de la llanura baja del Río Papaloapan han disminuido su capacidad de conducción debido al azolvamiento de sus canales, condición que trae como consecuencia que aún cuando los caudales no sean muy altos, la avenida sobrepase también los bordos de protección.

#### V.5.7 Alcantarillas

La Comisión del Papaloapan construyó 31 estructuras de descarga para el lado seco de la margen izquierda del bordo de protección del Río Papaloapan, para que las aguas pluviales realizaran su evacuación, 11 de ellas cuentan con estructuras de control (compuertas) y 20 carecen de ellas. Mientras para el bordo de la margen derecha cuenta con 18 alcantarillas, las cuales 6 tienen compuertas y 12 no cuentan con ellas. Son numerosas las alcantarillas tanto con estructuras de control, como sin ellas, que están deshabilitadas o con un funcionamiento incompleto.

#### V.5.8 Presas

La construcción de las presas fue fundamental para la disminución de la frecuencia de inundaciones, o por lo menos en la reducción de la magnitud de áreas afectadas por las mismas.

La construcción de las presas Temascal y Cerro de Oro ambas con el objetivo del control de inundaciones, la generación de energía, acuacultura, navegación, riego y retención de azolves fueron puestas en operación la primera para el año de 1955 y la segunda en 1991, es decir con un lapso de tiempo entre una y otra de 36 años. La diferencia en el tiempo de operación entre ambas, fue significativo para los problemas de inundación en la llanura baja, pues, considerando que la presa Temascal retuvo los escurrimientos de las superficie con mayor precipitación de la cuenca, dejando libremente durante 36 años, la acumulación de azolves de la subcuenca del Río Santo Domingo, la cual registra la mayor cantidad de sólidos suspendidos de toda la cuenca.

“El gran volumen de sólidos suspendidos que arrastran los Ríos del Alto Papaloapan y que se acumulan en el Santo Domingo, registran en la estación de la Junta 5, 771 miles de m<sup>3</sup> como valor medio anual, que representa el 54% del total de azolve medido en la cuenca “ (SRH, 1975).

La construcción de la presa de Temascal (Miguel Alemán) se llevó a cabo entre los años de 1949-1955 sobre el curso fluvial del Río Tonto, teniendo una altura de la cortina de 76 m, una longitud de la cortina de 830 m, una capacidad útil de 6, 670 Mm<sup>3</sup> y una capacidad muerta de 1, 230 Mm<sup>3</sup> (Morales y Méndez, 1997).

La presa Cerro de oro (Miguel de la Madrid Hurtado) inició operaciones en 1991, la cortina de la presa tiene una altura de 70 m, una longitud de 1,800 m, una capacidad útil de 1, 640 M m<sup>3</sup> y una capacidad muerta de 576 M m<sup>3</sup> (Morales y Méndez, 1997).

Ambas presas se encuentran conectadas por el Tajo Pescaditos, el cual tiene la finalidad de controlar las avenidas de ambos ríos, además de dar un mayor rendimiento al volumen de agua para la producción de energía; los trabajos iniciaron en 1994 y concluyeron en 1995.

#### V.5.9 Protección marginal

Por otro lado la dinámica erosiva de las corrientes fluviales ha producido socavación en las márgenes de las corrientes, por está razón algunas localidades cuentan con la construcción de protección de enfajados, tablaestacados, y en otros enrocamiento o combinaciones de unos y otros.

Las localidades beneficiadas con dichas protecciones son: Santa Teresa, San Bartolo, Tuxtepec, Mundo Nuevo, San Rosendo, Santa Fe y Papaloapan en el estado de Oaxaca. Chacaltianguis, Tuxtilla, Tlacojalpan, Otatitlán, Tlacotalpan, K-88, San Jerónimo K-83, Boca del Río Tesechoacán, Dos Bocas, Amatitlán, Cosamaloapan, Boqueron, Saladero, Oyozontle, Novillero, El Pedregal, La Lima, Playa de Vaca, La Isleta y La Peñita en Veracruz.

Las medidas más recientes (1996) son la aplicación de colchacreto en cuatro localidades de las riberas del curso del Río Papaloapan, una de ellas localizada en la margen izquierda (Amatitlán 840 m de longitud) y las tres restantes en la margen derecha ( Paso Carvajal 30 m, Tlacojalpan 30 m y Chacaltianguis 24 m).

## **VI RESULTADOS**

Los inundaciones que con frecuencia ocurren en la llanura baja del Papaloapan, toman representación espacial, debido a las características geomorfológicas, edafológicas y de densidad del drenaje que ahí tienen lugar. Pero dichos fenómenos son producto de la presencia de perturbaciones atmosféricas, las cuales presentan características específicas, para que se lleven a cabo abundantes precipitaciones y altos gastos hidrométricos en la porción alta de la cuenca. Dichos elementos generan el desarrollo de inundaciones en las llanuras bajas en donde se establecen poblaciones en superficies con un alto peligro "natural" de inundación.

Aunque las inundaciones son un proceso natural en la llanura baja del Papaloapan, recientemente ocurren con mayor frecuencia y con gastos hidrométricos que no se registraban en décadas pasadas. La tendencia del incremento en los gastos hidrométricos responde a las modificaciones que el hombre ha hecho en la cubierta vegetal de la cuenca.

Por todo ello, se realizó el estudio de la vulnerabilidad de inundación, considerando factores que involucran la totalidad de la cuenca, así como factores y elementos que se limitan a la llanura baja, en donde se expresan de forma espacial los procesos de inundación que dañan los asentamientos humanos ahí establecidos. Por tal motivo, los resultados del estudio de la vulnerabilidad de inundación, se enfocan en la porción final de la llanura baja del Río Papaloapan.

El estudio del riesgo de inundación para la zona de estudio, conjunta el análisis a) del peligro "natural" de inundación (P. N. I. ) y b) de la vulnerabilidad social, obteniendo los resultados siguientes:

### **PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN.**

#### **EVENTOS HIDROMETEREOLÓGICOS**

Los factores hidrometeorológicos denominados factores directos en el desarrollo de los procesos de inundación, quedan representados por cuatro escenarios, que fueron el resultado de la agrupación de perturbaciones atmosféricas, precipitaciones y gastos hidrométricos cuando ocurrieron inundaciones, basados en un análisis estadístico jerárquico de los gastos hidrométricos, que arrojó grupos de eventos hidrometeorológicos con características similares en un período de 1944-1996 (Tabla 7).

Los gastos hidrométricos y de la precipitación aparecen agrupados con referencia a la margen izquierda y margen derecha de la cuenca del Papaloapan, ya que las cuencas de la margen izquierda se encuentran controladas por presas, mientras las corrientes de la porción derecha no cuentan con ninguna obra de ingeniería.

Los cuatro escenarios se relacionaron a cuatro magnitudes de inundación, que obedecen a las características de los factores hidrometeorológicos. Según información de la CNA (1999), se inundaron las siguientes superficies para cada escenario.

TIPO DE ESCENARIO	RANGOS DE GASTOS HIDROMÉTRICOS	RANGOS DE PRECIPITACIÓN	DE LAS PERTURBACIONES
I. INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 6,850 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 1, 404 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 4,165 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 436	Una franja en toda la cuenca alta con precipitación mayor a 500 mm/72 hrs. o centros del alta precipitación arriba de los 100 mm/48 hrs., abarcando todo el curso alto de la cuenca, alcanzando 450 mm/48 hrs.	Cuando un huracán entra directamente a la cuenca o cuando se suman varias tormentas y depresiones tropicales originadas en el Pacífico y Atlántico cercanas al litoral.
II. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 6,228 a 6,825 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> Río Tesechoacán 756 a 975 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 550 a 641 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 217 371 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> 500 mm/72 hrs. o 550 mm/48 hrs. <b>M. derecha:</b> Menores de 100 mm/48 hrs. Y por arriba de 100 mm/72 hrs.	huracanes con una trayectoria muy cercana a la línea de costa o que tocan tierra con poca distancia de la cuenca
III. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LAS CORRIENTES DE LA MARGEN DERECHA Y BAJOS GASTOS EN LA CORRIENTE DE LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> R. Papaloapan 3, 846 a 5, 275 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> R. Tesechoacán 715 a 2, 093 m <sup>3</sup> /s R. San Juan 657 a 2, 076 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 50.6 a 656 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> 400 mm a 550 mm/72 hrs. 400 mm/48 hrs. <b>M. derecha:</b> Mayores de 100 mm alcanzando hasta 350 mm/72 hrs. o 150 mm/48 hrs.	Huracanes, tormentas y depresiones tropicales, que en la costa Pacífica presentan trayectoria paralela a la costa iniciando desde la costa de Chiapas. Y para el caso del Golfo cruzan la porción alta de la cuenca con una dirección de este a oeste
IV. INUNDACIONES CON ALTOS GASTOS HIDROMÉTRICOS EN LAS CORRIENTES DE LA MARGEN DERECHA Y MUY BAJOS GASTOS EN LA CORRIENTE DE LA MARGEN IZQUIERDA	<b>M. izquierda:</b> Río Papaloapan 1,724 a 3,141 m <sup>3</sup> /s <b>M. derecha:</b> R. Tesechoacán 747 a 1, 871 m <sup>3</sup> /s Río San Juan 566 a 2, 398 m <sup>3</sup> /s Río Lauchapan 50.3 a 475 m <sup>3</sup> /s	<b>M. izquierda:</b> Menores de 400 mm/72 hrs. * <b>M. derecha:</b> Mayores a 300 mm/72 hrs. *	Huracanes, tormentas y depresiones tropicales, que en la costa Pacífica presentan trayectoria paralela a la costa iniciando desde la costa de Chiapas. Y para el caso del Golfo cruzan la porción alta de la cuenca con una dirección de este a oeste

Tabla 7. Tabla que concentra los datos hidrometeorológicos cuando han ocurrido inundaciones y que se han agrupan en cuatro escenarios.

TIPO DE ESCENARIO	SUPERFICIE INUNDADA EN HA	AÑO DEL EVENTO
I.	De 340, 000 a 470, 000	1969 1944
II.	195, 000	1958
III.	Desde 40, 000 hasta 210, 000	1975, 1980 1981
IV.	Desde 40, 000 hasta 210, 000	1996

El análisis de los máximos gastos hidrométricos arrojó una tendencia al incremento, en las subcuencas de los Ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista, ambas corrientes pertenecen a la margen derecha, en donde los gastos hidrométricos máximos después de 1969, se incrementaron hasta 800 m<sup>3</sup>/s y 1,100 m<sup>3</sup>/s para los ríos Tesechoacán y San Juan Evangelista respectivamente (Figuras 14 y 15).

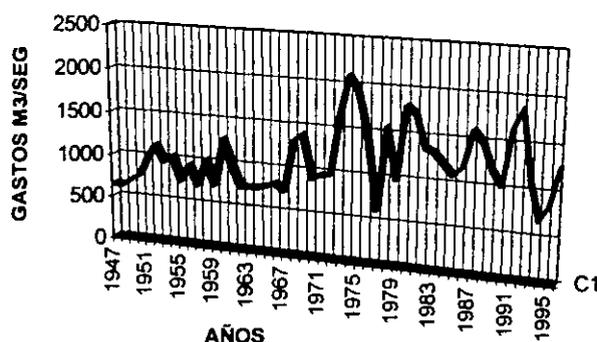


Figura 14. Máximas hidrométricas anuales de la estación Villa Azueta, Río Tesechoacán.

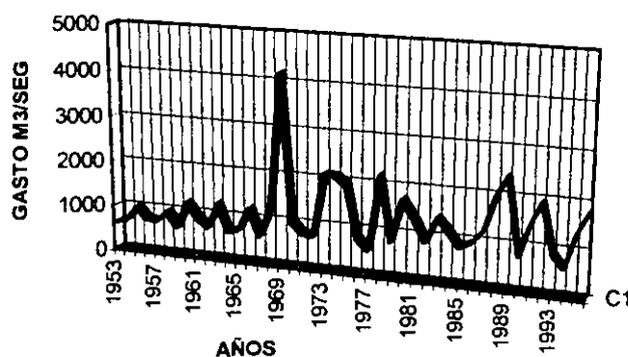


Figura 15. Máximas hidrométricas anuales de la estación Cuatotolapan, Río San Juan Evangelista.

El incremento en los gastos hidrométricos de las subcuencas de la margen derecha, no se debe a un aumento de la precipitación de dichas subcuencas, ya que el análisis de la precipitación total anual en 9 estaciones climatológicas; 5 para la subcuenca del Río San Juan Evangelista y 4 en el Río Tesechoacán, así lo manifiestan (Figuras 28 y 29).

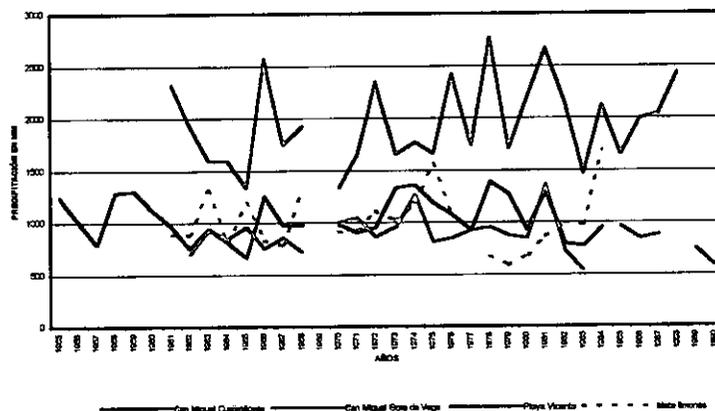


Figura 28. Precipitación total anual de cuatro estaciones climatológicas de la subcuenca del Río Tesechoacán (1955-1970)

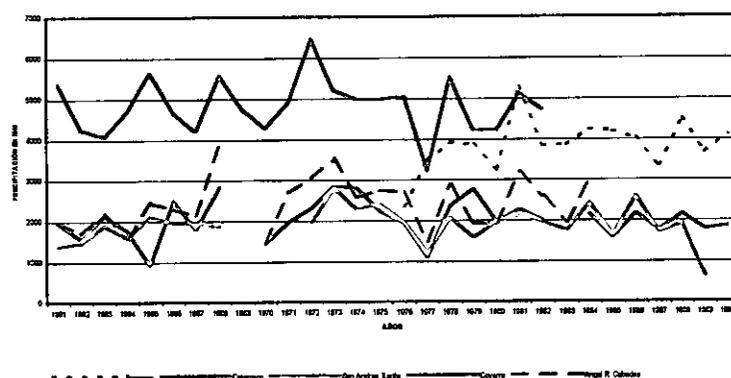


Figura 29. Precipitación total anual de seis estaciones climatológicas de la subcuenca del Río San Juan Evangelista (1961-1990).

### CAMBIO EN LA CUBIERTA VEGETAL Y PENDIENTES

El análisis de la modificación en la cubierta vegetal mostró una alta deforestación de hasta 29.5% durante el periodo de 1973-1993 para las subcuencas de los ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista, todas ellas pertenecientes a la margen derecha del Papaloapan. Mientras las subcuencas de la margen izquierda mostraron una pérdida forestal del 16% también para el área total de las subcuencas que la conforman; mostrando para éstas últimas la deforestación principal en superficies con pendientes mayores a 6° en patrones de pequeñas superficies distribuidos en manchones dispersos.

En contraste las subcuencas de la margen derecha presentan la pérdida de la cubierta forestal en pendientes menores a 6° con patrones de forestación en grandes superficies continuas, ubicadas desde la desembocadura de las corrientes hasta el curso medio de las mismas.

Las modificaciones en la cubierta vegetal abarcarán hasta los cambios más recientes para el año 2000, en lo que llamaremos índice de antropización, del cual más adelante daremos los resultados.

El análisis del peligro "natural" de inundación se basa en factores que abarcan toda la cuenca como los descritos anteriormente, pero ahora se toman en cuenta factores que se limitan sólo a la zona de estudio. En donde para asignar los niveles del peligro "natural" de inundación en la zona, se recurrió a la utilización de un SIG (arc/info y Arcview).

El SIG proporciona la facilidad de determinar espacialmente cuáles son las superficies con mayor y menor peligro "natural" de inundación (P.N.I.), en función de las características que presentan las superficies.

#### UNIDADES NATURALES.

Con base en los rasgos geomorfológicos, edafológicos y de la vegetación, se generó el mapa de unidades naturales. La unidad natural con mayor superficie corresponde a la llanura baja con pastizal cultivado y suelo tipo gleysol que representa el 25.7% del área del estudio, ubicándose como un gran superficie en dirección sur a norte, que abarca todo el curso bajo del Río San Juan Evangelista.

#### DENSIDAD DEL DRENAJE

Otra capa de información generada para la zona de estudio es el mapa de densidad de drenaje, el cual evidencia que los valores más altos de la densidad del drenaje son de 1.25 a 3.0 Km / km<sup>2</sup>, correspondiendo a la misma llanura baja de los Río San Juan y Martintela, siendo este último afluente del primero. Estas corrientes forma una red de drenaje anastomosado, donde la longitud de las corriente es mayor, así como también el tiempo de salida de las aguas fluviales.

Finalmente se determinaron los diferentes niveles del P.N.I., tomando en cuenta todos los factores estudiados, tanto los que abarcaron la totalidad de la cuenca, como los que formaron parte solamente de la zona de estudio.

#### DETERMINACIÓN DEL PELIGRO "NATURAL" DE INUNDACIÓN (P.N.I)

La determinación del P.N.I. se llevó a cabo mediante tres etapas que son:

- 1) El tratamiento y sobreposición de la información para la zona de estudio representada por la unidad natural y la densidad de drenaje.
- 2) El análisis de la sobreposición de las coberturas de la modificación de la cubierta vegetal y las pendientes junto con el índice de antropización, además de otros indicadores. La suma de la etapa uno y dos dan como resultado el mapa del P.N.I.
- 3) La determinación de posibles superficies de inundación en función de la interrelación entre los escenarios hidrometeorológicos y la mapa de peligro "natural" de inundación.

La primera etapa agrupó las unidades y la densidad del drenaje, en función de las características que presentan. Está agrupación se realizó con la finalidad de no crear un sin número de polígonos que confundieran la comprensión del mapa resultante. La agrupación quedó resumida en la tabla 15.

En el mapa resultante de esta la sobreposición predominan las superficies que presentan el nivel de peligro "natural" de inundación alto (Figura 81), ubicadas en forma de corredor

sobre todo el curso de los ríos San Juan y Tecomate hasta su desembocadura. El ancho promedio de tal corredor es de 12 km, el cual se ensancha aguas abajo.

El segundo lugar en cuanto a la superficie, lo ocupan las áreas con P.N.I. bajo, ubicadas en la margen izquierda del Río Papaloapan, que inician en el poblado de Novillero hasta Tlacotalpan, en las cuales se asignó a lo largo de la margen del Río Papaloapan un nivel alto, debido a los desbordamientos que se presentan en esa zona, no obstante de ser una llanura alta con drenaje eficiente y baja densidad del drenaje.

En la segunda etapa se tomaron en cuenta los siguientes principios:

- 1) A mayor índice de antropización, mayor peligro "natural" de inundación.
- 2) Las corrientes no controladas tendrán mayor peligro de inundación
- 3) Si el destino de la corriente desemboca directamente al mar representa menor peligro para los procesos de inundación.
- 4) Si una subcuenca presenta una tendencia en el aumento de los gastos máximos hidrométricos contará con un nivel mayor de peligro de inundación.

La determinación del peligro de inundación en la segunda etapa se traduce en bajo y alto, considerando solamente estos dos niveles debido a la heterogéneo de los elementos participantes.

Las consideraciones anteriores están resumidas en la siguiente Tabla 16.

Los valores numéricos de los niveles de la segunda etapa se traducen en los siguientes resultados, peligro "natural" de inundación bajo = 0 y alto = 1

Los resultados de estas dos primeras etapas se suman para determinar de forma espacial, el peligro "natural" de inundación de la zona de estudio. A la primera etapa se le añaden los límites de las subcuencas y al mismo tiempo la información de la segunda etapa.

La suma de las dos primeras etapas se efectúa con base en los valores numéricos determinados en las dos etapas, obteniendo finalmente cinco niveles de peligro natural de inundación: 0= nulo, 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto y 4 y 5 = muy alto.

Las subcuencas de la margen derecha del Río Papaloapan, mantienen valores que van de altos a muy altos. Y en el curso del Río San Juan predomina un nivel muy alto del P.N.I.

Luego se relacionaron los niveles del P.N. I y las áreas inundadas en cada escenario metereológico. El área inundada para el primer escenario metereológico, abarca toda la zona de estudio salvo las superficies con un nivel bajo y las del nivel medio inmersas dentro de las mismas (Figura 73).

El segundo escenario muestra una área de inundación en toda la superficie paralela al curso del Río Papaloapan, además de las subcuencas de la margen derecha, inundadas como consecuencia del enorme caudal de la corriente principal que impide la salida de los afluentes de la margen derecha, estableciéndose en las superficies de P.N. I alto y muy alto (Figura 74).

Los tercero y cuarto escenarios fueron agrupados por presentar características muy parecidas. El área de inundación para ellos es similar al segundo escenario, a diferencia de que la superficie paralela al curso queda inundada con una menor longitud, iniciando a partir de la desembocadura del Río Obispo (Figura 75).

## **VULNERABILIDAD SOCIAL**

La determinación de la vulnerabilidad social es el resultado de la sobreposición del mapa del peligro "natural de inundación, con los diferentes factores sociales afectados ante la presencia de una inundación.

### **UBICACIÓN Y NUMERO DE HABITANTES**

En lo que corresponde a la ubicación y número de población de las localidades, los resultados arrojan que un 31% de la población de la zona de estudio, se establece sobre un P.N. I. de alto a muy alto, considerando para ello, según el censo de INEGI (1995), una población de 57, 353 habitantes.

Entre las localidades más importantes establecidas en un nivel alto y muy alto de inundación Figuran Cosamaloapan, Carlos A. Carrillo, Tlacotalpan y Chacaltianguis, así como decenas de localidades establecidas entre los Ríos Obispo y Tesechoacán donde la población no rebasa de forma general los 200 hab. Y formando parte de un nivel muy alto de inundación entre las llanuras inundables de los Ríos San Juan Evangelista y Tecamate, se encuentran cientos de localidades con una población menor a 100 hab.

### **MATERIAL DE LAS VIVIENDAS**

En la zona de estudio predominan las casas de concreto con un 87%, las de techo de cartón 11.2% y las casas con paredes de cartón o materiales de desecho sólo representan el 1.8%. Pero debe señalarse que el 30.7% de las casas con techos de cartón se establecen sobre niveles de inundación altos y muy altos, donde los habitantes de este tipo de viviendas no pueden refugiarse en sus techos en caso de inundación severa.

### **USO DEL SUELO**

La superficie agrícola y ganadera en la zona de estudio es afectada por las inundaciones en la siguientes proporciones, se tiene que del 100% de las superficie con un nivel muy alto del P.N.I, corresponde a un 68.3% (55, 293 ha) a pastizal cultivado; mientras que con un nivel alto del P.N.I se encuentran los siguientes usos, pastizal cultivo con un 23% (23, 701 ha), agricultura de temporal es afectada con un 22.6% (23, 437 ha). Estas superficies se encuentra en la margen derecha del Río Papaloapan.

### **DISTRIBUCIÓN DE CARRETERAS**

La mayor parte de las carreteras de la zona de estudio se encuentran sobre superficies con un nivel alto y muy alto de P.N.I., a excepción de las que se establecen sobre la llanura alta de la margen del Río Papaloapan pero que se encuentran alejadas de esta corriente. La carretera principal de la zona de estudio se encuentra en un nivel muy alto

de inundación ya que corre paralela al curso fluvial del Río Papaloapan, pero la mayor vulnerabilidad está determinada por el desplome que sufre la base de la carretera, debido a la socavación de la curva externa de los meandros de la corriente fluvial.

El corredor con dirección norte-sur, al cual corresponde un nivel de inundación muy alto, se encuentra comunicado solamente por caminos de brecha, que al ser inundados, dejan a todas las localidades de dicha zona, sin posibilidad de salir de la inundación.

## OBRAS DE PROTECCIÓN.

Las obras de protección para evitar las inundaciones han sido numerosas desde la rectificación del curso del Río Papaloapan, reduciendo su longitud hasta en 50 km. La construcción de un canal de alivio para evacuar directamente al mar buena parte del gasto hidrométrico del curso del Río Papaloapan, canal ubicado a la altura de la localidad de Tlacojalpan.

Se aplicó a través de la construcción de pequeñas presas la corrección de torrentes y retención de azolves, esto en la subcuenca del Río Santo Domingo sin que se tuvieran buenos resultados, ya que las presas no resistieron el impacto de las avenidas.

El principal borde de protección, lo constituye la carretera de primer orden que cubre un tramo desde Tuxtepec hasta Tlacotalpan, la cual detiene en buena medida las avenidas menores, pero las grandes avenidas lo rebasan creando problemas de inundación más serios, manteniendo el agua estancada hasta más de un mes.

Las alcantarillas que en un principio sirvieron para evacuar las aguas pluviales de la llanura alta paralela al Río Papaloapan, hoy día se encuentran inhabilitadas o con un funcionamiento incompleto.

Las grandes presas sin lugar a dudas han jugado un papel importante sobre el control de las avenidas en la cuenca, reteniendo los escurrimientos y disminuyendo el número de inundaciones en la llanura baja del Papaloapan. Sin embargo el tiempo de operación entre una y otra fue de 36 años, lapso significativo, si se considera que la presa Temascal se construyó en la subcuenca del Río Tonto, la cual acumula escurrimiento de las superficies con la mayor precipitación de la cuenca, dejando libre durante 36 años el transporte de azolves de la subcuenca del Río Santo Domingo, donde se registra el 54% del total de sólidos de toda la cuenca.

## VII. CONCLUSIONES

La vulnerabilidad a inundación en las últimas décadas es un fenómeno que ha aumentado su peligrosidad en el curso bajo del Río Papaloapan ya que el incremento en los gastos máximos hidrométricos de las corrientes de las subcuencas de la margen derecha, han producido inundaciones con mayor frecuencia.

En este estudio, se mostró que este incremento en los gastos máximos hidrométricos en las subcuencas de la margen derecha, es consecuencia de la pérdida en la cubierta forestal original en las subcuencas de los Ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista, ya que el análisis de los datos de precipitación total anual en dichas subcuencas, no presentan cambio alguno en la tendencia de la precipitación durante el periodo entre 1955-1990.

Con base en el análisis de imágenes de satélite, se mostró que superficies continuas de grandes dimensiones fueron deforestadas en las subcuencas de los Ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista. La pérdida de la cubierta forestal ha generado procesos de sedimentación acelerada, elevando de 4 m a 7m el fondo del lecho fluvial en la confluencias de las corrientes tributarias de los Río Obispo y San Juan con el Río Papaloapan.

Un análisis realizado con información hidrometeorológica cuando se han presentado inundaciones en la cuenca del Papaloapan permitió caracterizar los siguientes escenarios:

1) Cuando los huracanes impactan directamente en la cuenca o cuando se suman varias tormentas y/o depresiones tropicales cercanas a la línea de costa Pacífica y Atlántica, ocurren abundantes precipitaciones en todo el curso alto de la cuenca, altos gastos hidrométricos en todas las corrientes y por tanto importantes superficies inundadas de 470, 000 ha y 340, 000 ha.

2) Cuando huracanes tocan o pasan cerca de las subcuencas de la margen izquierda, se producen altos gastos hidrométricos en estas subcuencas, originando inundaciones de 195, 000 ha.

3) Cuando se presentan huracanes, tormentas y depresiones tropicales con trayectoria desde la costa sur de Chiapas y/o que se originan en el Atlántico con dirección este-oeste penetrando por la costa centroamericana, ocurren abundantes precipitaciones y altos

gastos hidrométricos en las subcuencas de la margen derecha, inundando desde 40, 000 210,000 ha.

La combinación de las modificaciones en la cubierta vegetal y la presencia de los diferentes escenarios hidrometeorológicos, generan el desarrollo de inundaciones, las cuales se distribuyen espacialmente en función de las características que encuentran en el curso bajo del Río Papaloapan.

El peligro "natural" de inundación (P.N.I) para la porción baja del Papaloapan, muestra que las superficies aledañas a los Ríos Obispo, Tesechoacán y San Juan Evangelista presentan niveles del P.N.I de altos a muy altos, correspondiendo a superficies de llanuras bajas, con suelos de drenaje deficiente, valores altos de densidad del drenaje, donde dichas superficies forman parte de subcuencas no controladas, con una importante superficie deforestada, son corrientes que no tienen salida directa al mar y que presentan una tendencia en el incremento de los gastos máximos hidrométricos (Figura 72).

En una etapa siguiente, se analizó la vulnerabilidad social ante los procesos de inundación en el curso bajo del Río Papaloapan. Se muestra que 31 % (57, 353 hab.) de la población de la zona de estudio, se establece en zonas que presentan un peligro de inundación alto y muy alto, correspondiendo a 275 localidades. 11.2 % de las casas en la zona de estudio corresponde a viviendas de cartón y sólo 1.8% están constituidas de materiales de cartón o desecho. Las localidades que presentan más de 10 viviendas de cartón y se encuentran en un peligro "natural" de inundación muy alto son: Cosamaloapan, Tlacotalpan, Carlos A. Carrillo, Escolleras, Paso Nacional y El Marqués. En la zona de estudio suman 1,346 viviendas construidas con techos de cartón y ubicadas en peligro de inundación alto y muy alto, donde sus moradores no tienen refugio en el techo de sus casas en caso de inundación severa.

El 68% (55,293 ha) de las superficies con peligro de inundación muy alto están ocupadas por pastizal cultivado. 23% (23,437 ha) de las superficie con un nivel alto de inundación corresponde a agricultura de temporal.

La carretera principal de la zona de estudio se establece sobre un área de peligro de inundación de nivel muy alto, pero la mayor vulnerabilidad está representada por la

socavación y desplome de la infraestructura, debida a la actividad de las márgenes externas de los meandros fluviales. La porción de las corrientes de la margen derecha del Río Papaloapan, que corresponden a niveles muy altos del P.N.I., sólo presentan caminos de brecha, los cuales se inundan cuando ocurren grandes avenidas por lo cual la población no tiene posibilidad de salir.

Las obras de protección han amortiguado la presencia de las grandes avenidas, disminuyendo la magnitud de las inundaciones, pero no han sido suficiente los esfuerzos del control de los escurrimientos en las subcuencas de la margen izquierda por medio de las presas, ya que se tiene sin control a las subcuencas de la margen derecha, las cuales aportan el 50.5 % del volumen medio anual de toda la cuenca y en donde, como ya se mencionó anteriormente, las modificaciones en la cubierta vegetal original han sido devastadoras.

La utilización de sistemas de información geográfica (SIG) en estudios de riesgo de inundación, son fundamentales por la facilidad que proporcionan para determinar las zonas con mayor peligro a inundación y en la identificación de las localidades con mayor vulnerabilidad social de ser afectadas.

## VIII BIBLIOGRAFÍA

Bocco V., Ortiz P., " *Definición de unidades espaciales para el ordenamiento ecológico*". Boletín Informativo Jaina Vol. 5 No. 1 Ene-Mar 1994. Programa de Ecología, Pesquería y Oceanografía del Golfo de México EPOMEX. México, 1994.

Brichambaut, G. P. de, " *Estudio preliminar de las formas de clima en las zonas cálidas y sus relaciones con la vegetación* ", Bol. Soc. , núm. 23, México, 1958, pp. 132-145.

CNA, Comisión Nacional del Agua, " *Isoyetas normales de la república mexicana 1931-1990*". México, 1992.

Cuevas, G. " *Elaboración de un programa AML compatible con Arc/Info para la determinación de la densidad del drenaje*", SELPER, México , 1993.

Fuentes M., Domínguez M., y otros, " *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, 1994.

García, E. " *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* ". UNAM. México, 1988.

Giddings L., Chiappy C., Soto M., Gama L., " *Modificaciones ecológicas-paisajísticas del estado de Veracruz, México*". Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. Num. 33, México, 1996.

IMTA. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. Información Hidrométrica, 1967-1994.

IMTA. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, " *Extracto rápido de información climatológica ERIC*", Serie programas. México, 1996.

INEGI. " *XI Censo de Población y Vivienda*", México, 1990.

INEGI. " *Conteo de población y vivienda 1995* ", México, 1995.

INEGI. " *Estadísticas del estado de Veracruz* ", México, 1997.

Jacome Lara Alejandro, Tesis de Licenciatura " *Problemas de inundación entre los Ríos Obispo- Papaloapan, Veracruz* ", UNAM. México, 1979.

Jáuregui Ostos E. " *Los huracanes prefieren a México* ", Información científica y Tecnológica, CONACYT. Volumen 11. No. 155, México. 1989.

Kingma, N. C. " *Natural Hazard: Geomorphological aspects of floodhazard*". International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Enschede, The Netherlands, 1990.

Lozano Román Fernando. " *Bosquejo Geológico de la Provincia del Papaloapan* ". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. VII Números 1-2, México, 1955

Lugo Hubp., J., " *Elementos de geomorfología aplicada (Métodos Cartográficos)*". Univeridad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México, 1988.

Luna Bauza, Cesar, " *Huracanes que han afectado el estado de Veracruz*". Centro de Previsión del Golfo. México, 1993.

Marchal, J. y Palma, G. " *Análisis gráfico de un espacio regional Veracruz* ". Laboratorio de Investigación y desarrollo regional. INIREB.ORSTOM. México, 1985.

Markrey, A. (compilador), " *Los desastres no son naturales*". LA RED (Red de estudios sociales), ITDG (Intermediate Technology Development Group). Tercer mundo editores, Colombia, 1993.

Morales, M. y Mendez M. " *Diagnostico sobre la seguridad integral de la cuenca del Río Papaloapan*", Facultad de Ingeniería. Universidad Veracruzana. Tesis. México, 1997.

Miranda, F. y Hernández, X. " *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*". Boletín de la Sociedad Botánica. México, 1963.

Ortiz Pérez M. A. " *Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del Río Grande de Santiago, Nayarit* ". Boletín del Instituto de Geografía No. 9 . UNAM. México, 1979.

Ortiz et al. " *Mapa de riesgos Naturales*". Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, 1991.

Ortiz P. y Benítez J. " *Elementos teóricos para el entendimiento de los problemas de impacto ambiental en planicies deltáicas: la región de Tabasco y Campeche*". Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie científica, 5. México, 1996.

Palacio et al. " *La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000*". Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía No. 43. UNAM. México, 2000.

Pelcastre F. N., " *Aplicación de un Modelo de Flujo en la llanura de Inundación del Río Papaloapan para el análisis de proyectos de obras de protección para el control de inundaciones*". Tesis licenciatura. I.P.N., E.S.I.A. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México, 1995.

Pérez Vega A., Ortiz Pérez M. A. " *Vulnerabilidad de una porción costera del estado de Veracruz, México ante las variaciones del nivel del mar* " Jaina. Boletín Informativo. Centro EPOMEX. UAC. México. 1997.

Rona, P. A. " *Subsidence of Atlántic Continental margins*" Tectonophysics 22. USA. 1974.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, " *El Papaloapan, Obra del presidente Alemán*". Comisión del Papaloapan. México, 1949.

Secretaría de Recursos Hidráulicos " *La erosión en el alto Papaloapan*" Comisión del Papaloapan, México, 1965.

Secretaría de Recursos Hidráulicos " *Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca del Papaloapan*". Comisión del Papaloapan, México, 1975.

Secretaría de Agricultura Recursos Hidráulicos, "*Boletín hidrométrico de la cuenca del Río Papaloapan*"; 1960-1978. Comisión del Papaloapan, México.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Comisión del Papaloapan, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. "*Recursos Naturales de la Cuenca del Papaloapan*". Tomo I y II, México, 1977.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de planeación. "*Perspectivas del desarrollo agroeconómico del estado de Veracruz*". México. 1977.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. "*Memoria de la Comisión del Río Papaloapan*". Actividades (1947-1988) y liquidación Tomo I y II, México, 1990.

Secretaría de Agricultura Recursos Hidráulicos, "*Evaluación de daños causados por inundaciones y perturbaciones atmosféricas en la República Mexicana en el año de 19*" ; publicación anual de 1975- 1986. México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, "*Carta de escurrimiento y disponibilidad de agua superficial*", México, 1993.

Secretaría de Gobernación y Secretaría de desarrollo social. "*Programa nacional de desarrollo urbano 1995- 2000*" . Prevención y mitigación de desastres a través de la regulación del uso del suelo. México, 2000.

w.w.w. weather.Unisys.com. University. Purdue.E.E.U.U.