



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de vulnerabilidad por presencia de
huracanes en la costa del estado de Guerrero**

T E S I S

Como requisito para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta

MARTÍNEZ GARCÍA EVELYN

DIRECTOR DE TESIS

Dr. RODOLFO SILVA CASARÍN





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de vulnerabilidad por presencia de
huracanes en la costa del estado de Guerrero**

T E S I S

Como requisito para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta
MARTÍNEZ GARCÍA EVELYN

DIRECTOR DE TESIS

Dr. RODOLFO SILVA CASARÍN



MÉXICO, D.F.

ENERO 2002



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/201/01

Señorita
EVELYN MARTÍNEZ GARCÍA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. RODOLFO SILVA CASARIN, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR PRESENCIA DE HURACANES EN LA COSTA DEL ESTADO DE GUERRERO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
 - II. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD POR PRESENCIA DE HURACANES EN LA COSTA DE GUERRERO
 - III. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS
 - IV. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD EN LA COSTA DEL ESTADO DE GUERRERO
 - V. ANÁLISIS ESTEREMAL EN LA COSTA DE GUERRERO
 - VI. CONCLUSIONES
- FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO
BIBLIOGRAFÍA

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 7 de diciembre 2001.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

*A mi mami Nina +
Por ser mi madre, mi amiga y
mi compañera, ayer, hoy y siempre.*

*A mi papá Javier
Por el amor, apoyo y ejemplo que siempre
me has otorgado.*

*A mi mami Yoli
Por la vida, el amor y la entrega que sólo
tú has sabido darme.*

*A mis hermanas Yoli Angélica y Marilén
Por estar conmigo siempre y apoyarme en
todos los momentos de mi vida.*

*A Yarim Yoali
Porque tu alegría e inocencia llegaron
cuando más las necesitaba.*

*A mi tía Bety +
Porque llegaste a ser una verdadera
abuela y amiga.*

*Y sobre todo a ti Jesús que me has
dado la vida y la felicidad, y me has
demostrado tu amor en cada
segundo de mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Qué agradable tarea es recordar a todos aquellos que, de una forma u otra, han participado en la propia formación. Sirvan pues, estas líneas, como humilde homenaje tanto a los aquí mencionados, como aquellos a los que tal vez la mente ha olvidado, pero el corazón no.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, que siempre sigas viva y formando grandes hombres.

Gracias a la Facultad de Ingeniería, donde se sufre y se lucha pero al final se aprende.

Gracias a todos y cada uno de mis profesores que ayudaron en mi formación, en especial al Ing. Manuel Vacio, Ing. Rigel Gámez, Ing. Carlos Crail, Ing. Elí Hernández, Ing. Miguel Ángel Rodríguez Vega, M.I. Ricardo Padilla y M.I. Agustín Demeneghi.

A mis amigos y compañeros de generación Blanca, Diana, Ema, Hilda, Megumi, Sergio, Adal, Reynita, Capu, Robert, Atila, Huato, Chayo y Panda, gracias por escucharme y aguantarme tantos años.

Gracias al Instituto de Ingeniería por su preocupación por formar gente de ciencia.

Vaya un agradecimiento especial para el M.I. Victor Franco por la grandes oportunidades que me ha brindado.

Dr. Rodolfo Silva, saber compartir es una gran virtud, gracias por ofrecer todo lo que está a su alcance en pos del desarrollo de nuevos ingenieros.

A mis compañeros del Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del I.I. Adrián, Alberto, Roberto, Martha, Gustavo, Gregorio, en especial a Edgar, Georges y Gabriel por, en tan poco tiempo, haber mostrado compañerismo y lealtad.

Gracias a la Fundación ICA por ser promotores de la educación de muchos mexicanos.

A mis amigos y maestros del Colegio de Montaignac, Virrey de Mendoza y San José del Valle, los valores y principio ahí aprendidos siempre me acompañarán.

A mis abuelos Tey + y Chato por enseñarme a vivir la vida amándola y gozándola hasta el final.

Mil gracias a los hermanos y amigos de mis padres que estuvieron siempre presente.

A la familia Pérez Montejo por brindarme su hogar y su apoyo cuando más lo necesité.

A mis grandes amigas Dulce M^a Quintero, Verónica García y Vanessa Esquivel, por los inolvidables momentos y experiencias que hemos compartido durante muchos años.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE SÍMBOLOS	6
INTRODUCCIÓN	8
1. Importancia.....	8
2. Antecedentes.....	8
3. Objetivos.....	9
4. Metodología.....	9
5. Limitaciones y alcances del estudio	10
6. Organización de la tesis.....	10
1. ANTECEDENTES	13
1.1 Descripción general del fenómeno de huracán.....	13
1.2 Desarrollo de los Ciclones Tropicales.....	14
1.2.1 <i>Depresión Tropical</i>	14
1.2.2 <i>Tormenta Tropical</i>	15
1.2.3 <i>Huracán</i>	15
1.3 Movimiento de los huracanes.....	17
1.4 Actividad Global	18
1.5 Interacción de los huracanes con el fenómeno de El Niño.....	19
1.6 Presencia de huracanes en México	20
1.7 Vulnerabilidad por presencia de huracanes en la República Mexicana	24
1.7.1 <i>Antecedentes de vulnerabilidad por presencia de huracanes</i>	24
1.7.2 <i>Factores físicos de riesgo de los huracanes</i>	24
2. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD EN GUERRERO	28
2.1 Introducción.....	28
2.1.1 <i>Estado de Guerrero</i>	28
2.1.2 <i>Escurrimientos y precipitación</i>	29
2.1.3 <i>Vías de comunicación</i>	32
2.2 Importancia del análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero.....	34
2.3 Estudio histórico de la presencia de huracanes en la costa de Guerrero	35
3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS	41
3.1 Introducción.....	41
3.2 Descripción de los modelos de presión	41

3.3	Descripción del modelo de viento	43
3.4	Descripción del modelo de oleaje.....	46
3.5	Aplicación de los modelos de presión, viento y oleaje en la costa de Guerrero	49
4.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR PRESENCIA DE HURACANES EN GUERRERO	53
4.1	Introducción.....	53
4.1.1	<i>Concepto de riesgo y vulnerabilidad.....</i>	53
4.1.2	<i>Crecimiento urbano y riesgo</i>	53
4.2	Análisis estadístico de ocurrencia de eventos históricos.....	54
4.3	Análisis geográfico para la determinación de zonas de vulnerabilidad.....	56
4.4	Resultados.....	59
4.5	Sistema para la alerta temprana por presencia de huracanes.....	71
5.	ANÁLISIS EXTREMAL EN LA COSTA DEL ESTADO DE GUERRERO.....	74
5.1	Introducción.....	74
5.1.1	<i>Excedencias</i>	74
5.1.2	<i>Periodo de retorno</i>	74
5.1.3	<i>Estadístico de orden</i>	74
5.2	Distribución de un estadístico de orden.....	75
5.2.1	<i>Distribución de Gumbel</i>	75
5.2.2	<i>Distribución de Weibull.....</i>	76
5.2.3	<i>Distribución de Frechet.....</i>	77
5.3	Resultados.....	77
6.	CONCLUSIONES	81
7.	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	82
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de los ciclones tropicales según la escala Saffir-Simpson.....	16
Tabla 1.2 Efecto de El Niño en el número de huracanes.....	19
Tabla 2.1 Regiones hidrológicas del estado de Guerrero.....	30
Tabla 2.2 Resumen de los registros de precipitación 1958 – 1999.....	31
Tabla 2.3 Nombre y año de ocurrencia de los huracanes que han afectado al Estado de Guerrero.....	36
Tabla 2.4 Huracanes más intensos registrados de 1950 al 2000.....	38
Tabla 3.1 Valores de las constantes del número de Rankin-Vortex.....	42
Tabla 3.2 Valores de las constantes B1 y B2.....	45
Tabla 3.3 Valores de las constantes Y1 y Y2 para el modelo de viento.....	45
Tabla 3.4 Valores de las constantes A1 y A2.....	47
Tabla 3.5 Valores de las constantes Y1 y Y2 para el modelo de oleaje.....	48
Tabla 3.6 Constantes teóricas C1 y C2.....	49
Tabla 4.1 Número y probabilidad de los avisos para la sección Oeste.....	55
Tabla 4.2 Número y probabilidad de los avisos para la sección Este.....	56
Tabla 4.3 Porcentaje del área de los municipios en cada zona riesgo.....	62
Tabla 4.4 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro de la zona de riesgo alto.....	63
Tabla 4.5 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro del área de riesgo medio.....	65
Tabla 4.6 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro del área de riesgo bajo.....	67
Tabla 4.7 Porcentaje de área del Estado que cubre cada tipo de vegetación.....	69
Tabla 4.8 Porcentaje de las áreas de vegetación que se encuentran dentro de cada zona de riesgo.....	69
Tabla 4.9 Porcentaje de área del Estado que cubre cada ecorregión.....	70
Tabla 4.10 Porcentaje de área de ecorregión que se encuentra dentro de cada zona de igual intensidad.....	70
Tabla 4.11 Relación de intensidades con radios de afectación.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de las temperaturas en la superficie del mar en la estación de verano.....	13
Figura 1.2 Ejemplo de Depresión Tropical.	14
Figura 1.3 Ejemplo de Tormenta Tropical.	15
Figura 1.4 Ejemplo de huracán.....	16
Figura 1.5 Sistema idealizado del comportamiento terrestre de presiones y vientos.....	17
Figura 1.6 Trayectoria que siguen los huracanes.	18
Figura 1.7 Regiones donde se originan ciclones tropicales.....	19
Figura 1.8 Temperatura observada en el Pacífico en el año de 1997.	20
Figura 1.9 Trayectorias históricas de ocurrencia de huracanes en la vertientes Pacífica y Atlántica.	20
Figura 1.10 Número de eventos que se aproximaron a las costas del Pacífico mexicano, durante los años de 1950 al 2000.	21
Figura 1.11 Número de eventos que se aproximaron a las costas del Atlántico mexicano, durante los años de 1950 al 2000.	21
Figura 1.12 Número de avisos que tocaron tierra en el Pacífico y su tiempo de duración. .	22
Figura 1.13 Número de avisos que tocaron tierra en el Atlántico y su tiempo de duración.	22
Figura 1.14 Resumen de eventos presentados en el Océano Pacífico por década.....	23
Figura 1.15 Resumen de eventos presentados en el Océano Atlántico por década.....	23
Figura 1.16 Límite de zonas de alta vulnerabilidad por presencia de vientos ciclónicos.....	25
Figura 2.1 Municipios y densidad de población del estado de Guerrero	28
Figura 2.2 Topografía general del Estado	29
Figura 2.3 Mapa de localización de las cuencas de Guerrero	30
Figura 2.4 Distribución de la precipitación en Guerrero.....	31
Figura 2.5 Fotos de desastres ocasionados por el huracán Paulina por su paso sobre el estado de Guerrero.....	34
Figura 2.6 Eventos presentados en la zona de estudio desde 1950 al 2000.	37
Figura 2.7 Avisos registrados en el área de estudio desde 1950 al 2000.	37
Figura 2.8 Trayectoria de los ciclones más intensos registrados en los últimos 50 años.....	39
Figura 2.9 Trayectoria de los ciclones que han entrando a tierra en los últimos 50 años. .	39
Figura 3.2 Relación de los factores para el cálculo del oleaje.....	47
Figura 3.3 Mínimas presiones históricas.	50
Figura 3.4 Máximas velocidades de viento históricas.....	50
Figura 3.5 Máximas alturas de ola históricas.	51
Figura 3.6 Periodos asociados a las máximas alturas de ola históricas.....	51
Figura 4.1 División de la zona de interés para el estudio de vulnerabilidad.	54
Figura 4.2 Ocurrencia de huracanes sobre la sección Oeste.....	55
Figura 4.3 Ocurrencia de huracanes sobre la sección Este.....	56
Figura 4.4 Concentración de eventos por intensidad en la sección Oeste.....	57
Figura 4.5 Curvas de igual intensidad generadas para la sección Oeste.....	58
Figura 4.6 Concentración de eventos por intensidad en la sección Este.....	58
Figura 4.7 Curvas de igual intensidad generadas para la sección Este.....	59
Figura 4.8 Cruce del mapa de zonas de igual intensidad con el de localidades y municipios.	60
Figura 4.9 Mapa de los municipios del estado de Guerrero junto con el mapa de curvas de igual intensidad.....	60

Figura 4.10 Población en la zona de riesgo alto.....	63
Figura 4.11 Número de viviendas en la zona de riesgo alto.....	64
Figura 4.12 Población en la zona de riesgo medio.....	65
Figura 4.13 Número de viviendas en la zona de riesgo medio.....	66
Figura 4.14 Población en la zona de riesgo bajo.....	68
Figura 4.15 Número de viviendas en la zona de riesgo bajo.....	68
Figura 4.16 Mapa de vegetación en el estado de Guerrero junto con el mapa de zonas de riesgo.....	69
Figura 4.17 Mapa de ecorregiones en el estado de Guerrero junto con el mapa de de curvas de igual intensidad.....	70
Figura 4.18 Mapa de la costa del Pacífico junto con el mapa de zonas de riesgo.....	71
Figura 4.19 Análisis de alerta temprana para el huracán Carlota (1997).....	72
Figura 5.2 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de presión.....	78
Figura 5.1 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de velocidad de viento.....	78
Figura 5.3 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de altura de ola.....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

P_0	Presión en el centro del huracán [mb]
P_r	Presión a una distancia radial r desde el centro [mb]
P_∞	Presión a primera isobara cerrada [mb]
R_C	Radio del máximo viento ciclostrofico [km]
R	Radio a cualquier distancia del centro [km]
N_C	Número de Rankin-Vortex
a	Constante de Holland
b	Constante de Holland
A	Constante de Holland
B	Constante de Holland
ρ_a	Densidad del aire
$r \frac{dp}{dr}$	Máximo gradiente de presiones.
f	Coefficiente de Coriolis
ϕ	Latitud en la cual se encuentra el centro del ciclón [°]
K_0	Constante interna del modelo.
C_1	Constante teorica [1/e].
K_1	Constante teórica que depende de las unidades utilizadas para la presión y velocidad.
$P_N - P_C$	Gradiente de presiones entre el centro del huracán y la primera isobara cerrada [mb]
Dp/dr	Gradiente de presiones.
ΔI_X	Gradiente de presión desde el centro del huracán a la presión normal [mb]
V_F	Velocidad de avance del ciclón [km/h]
β	Angulo entre la dirección de avance del ciclón y del viento U_r .
U_{RC}	Velocidad del viento máxima ciclostrofica [km/h]
U_{Rg}	Viento gradiente máximo [km/h]
U_R	Velocidad del viento en cualquier punto a distancia R del centro. [km/h]
ΔI_X	Gradiente de presión desde el centro del huracán a la presión normal [km/h]
H_{rsta}	altura de ola significativa sin considerar la velocidad de desplazamiento, [m]
H_r	Altura de ola significativa considerando la velocidad de desplazamiento, [m]
V_{10}	Campo de velocidades del viento a 10 metros sobre el nivel medio del mar [km/h]

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1. Importancia

México es un país geográficamente delimitado por dos grandes océanos que crean una línea de costa de aproximadamente 11 000 km de longitud. A lo largo de los cuales se encuentran zonas naturales de gran importancia, tales como: desiertos, selvas bosques, playas y montañas; además de un importante número de localidades aledañas, con poblaciones que en su conjunto suman más de 12 000 000 de habitantes.

La República Mexicana se encuentra situada en una zona vulnerable ante la presencia de fenómenos naturales como sismos y huracanes. Aparentemente en los años recientes los desastres naturales han sido cada vez más intensos y frecuentes. Este fenómeno es comprensible si se considera que la ocurrencia de un desastre está asociada tanto con la naturaleza como con la actividad humana.

El estado de Guerrero, por su localización, es uno de los estados de la República más vulnerables ante la presencia de sismos y huracanes. Anualmente se reportan alrededor de 5 ciclones cerca del litoral del Estado, ocasionando zonas de lluvias, inundación, vientos ciclónicos y alturas de ola extraordinaria, provocando daños a infraestructura, contaminación del agua, restricción en las actividades comerciales, pesqueras, industriales y turísticas y en ocasiones el eventual desalojo o evacuación de los habitantes de las zonas afectadas. Uno de los ejemplos más recientes de los daños ocasionados por la presencia de huracanes en Guerrero fue el paso del huracán Paulina en 1997, que provocó grandes pérdidas tanto humanas, como naturales y materiales.

2. Antecedentes

Han sido pocos los estudios que se han realizado sobre el tema de huracanes en México y en el caso del estado de Guerrero son casi nulos. A continuación se presentan las aportaciones más importantes que se han realizado en esta rama de la ingeniería.

Sánchez et al. (1998) realizó un comparación entre cuatro modelos de presiones, viento y oleaje con el objeto de identificar un modelo que fuese aplicable a las costas mexicanas.

Contreras (1999) realizó un pronóstico de las trayectorias de los ciclones, utilizando datos estadísticos y sistemas de percepción remota en tiempo real.

Conteras (2000) realizó un estudio oceánico meteorológico del riesgo generado por ciclones tropicales en el litoral mexicano.

Silva y Díaz (2000) elaboraron una base de datos con los huracanes que se han presentado cerca del litoral mexicano en los últimos 50 años. Desarrollaron modelos de presión, viento y oleaje para un estudio histórico de dichos eventos.

Díaz (2001) realizó la calibración de los modelos numéricos aplicados al análisis de huracanes en el Golfo de México, hizo también un estudio histórico de presencia de huracanes en la península de Yucatán y con ello un análisis de vulnerabilidad en esta zona.

3. Objetivos

Realizar un estudio de vulnerabilidad por presencia huracanes en la costa de Guerrero con el fin de entender, caracterizar y prevenir los posibles daños ocasionados por este tipo de fenómenos.

Sentar las bases para el desarrollo de un sistema de alerta temprana que, con base en datos medidos, prepare a las diversas poblaciones costeras del estado ante el eventual acercamiento de un huracán.

Proveer a las autoridades responsables de la planeación del desarrollos municipal del estado de Guerrero de herramientas

4. Metodología

La metodología utilizada es la descrita a continuación:

Se delimitó la zona de estudio, que en este caso fue el área comprendida entre la latitud Norte de 12° a 18° y longitud Oeste de -104° a -98° , que abarca el mar y la costa frente al estado Guerrero.

Se analizó la base de datos de los huracanes registrados en los últimos 50 años y se analizaron las trayectorias que siguieron los 714 huracanes que se han presentado en el Océano Pacífico.

Haciendo uso de la información registrada de cada uno de los ciclones y con la ayuda de los modelos numéricos de presión, viento y oleaje, se hizo el análisis histórico de mínimas presiones, máximos vientos, máximas alturas de ola y con su periodo asociado.

A partir de estos datos históricos se determinaron las zonas que se han visto más afectadas por la presencia de ciclones, así como el análisis estadístico de ocurrencia de eventos históricos. Con estos datos se determinaron las zonas de riesgo en el área de estudio.

Se empalmaron estos resultados con una base de datos que contiene información sobre la población y el número de viviendas registradas en la zona costera de Guerrero, de donde se obtuvo la cantidad de habitantes y viviendas que se encuentran en cada zona de riesgo. Los resultados se cruzaron también con los mapas de municipios, vegetación, ecorregiones y biogeográfica. Se calculó el porcentaje de área en cada nivel de riesgo para cada concepto analizado.

Con los registros de máximos vientos, altura de ola y mínimas presiones se realizó un análisis estadístico para determinar qué distribución estadística extremal se ajusta mejor a

los datos observados. Con la distribución de probabilidad se puede calcular la intensidad del evento que se presentará con un periodo de retorno dado.

5. Limitaciones y alcances del estudio

El trabajo realizado es un análisis estadístico e histórico útil para estimar los posibles daños causados por la presencia de un huracán en una determinada zona, en función de las intensidades de viento, presiones y oleaje que puede generar un evento ciclónico, es importante señalar que el modelo desarrollado no pronostica la trayectoria que va a seguir el fenómeno.

Los modelos paramétricos de oleaje utilizados en este trabajo sólo son válidos en aguas profundas, para conocer el oleaje en la línea de costa fue necesario acoplar los resultados a un modelo de propagación de oleaje.

Para la realización del análisis de vulnerabilidad se tomó en cuenta la topografía del lugar, así como la ubicación y tipo de vivienda que hay en éste.

El modelo general utilizado no contiene un modelo de lluvias, es decir, no tiene lluvias asociadas, sólo presión atmosférica, viento y oleaje.

6. Organización de la tesis

El presente trabajo está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Antecedentes

Se estudian el desarrollo, crecimiento y clasificación de los ciclones tropicales. Se presentan la cantidad e intensidad de los huracanes que han pasado cerca del litoral mexicano en los últimos 50 años, tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico. Finalmente se describe la vulnerabilidad que la República Mexicana ha presentado ante el paso de estos eventos.

Capítulo 2. Importancia del análisis de vulnerabilidad en Guerrero

En este apartado se establece la importancia del estudio en el estado de Guerrero. Primero se da la localización de éste dentro de la República Mexicana y se presentan algunas características generales del Estado. El objeto central del capítulo es realizar un estudio histórico de la ocurrencia de huracanes en la costa de Guerrero.

Capítulo 3. Descripción de los modelos numéricos.

Se describen los modelos de presión, viento y oleaje empleados para la simulación del clima marítimo en presencia de huracanes. Se muestran los mapas históricos generados para presión mínima, velocidad de viento máxima, altura de ola máxima y periodos asociados registrados en la zona de estudio.

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Se realiza un análisis estadístico de ocurrencia y se desarrolla un estudio geográfico para la determinación de las zonas de vulnerabilidad. Se presentan las zonas de riesgo y se empalmadas con la base de datos que contiene la población y el número de viviendas registradas en las localidades de Guerrero. De las cuales se obtiene la cantidad de habitantes y viviendas que se encuentran en cada zona de riesgo. Estas zonas también se empalman con los mapas de municipios, vegetación, ecorregiones y biogeográfica y se determina el porcentaje de área de éstas en cada zona de riesgo. Finalmente se describe y ejemplifica el sistema para alerta temprana por presencia de huracanes.

Capítulo 5. Análisis extremal en la costa del estado de Guerrero

Se describen las funciones de probabilidad acumulada teóricas válidas para análisis extremal de máximos y se aplica dicho análisis a la base de datos histórica.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

1.1 Descripción general del fenómeno de huracán

Un “ciclón tropical” es el término científico que se utiliza para definir una circulación meteorológica cerrada que se propaga sobre aguas tropicales. Su nombre varía según la región geográfica en el cual se desarrolla: en el Atlántico y en el Nordeste del Pacífico son llamados como “huracanes”, en el Noroeste del Pacífico como “tifones”, en el Pacífico Sur y en el Océano Indico, son conocidos simplemente como “ciclones”, en las Filipinas se le denomina “baguio” y en Australia “Willy-Willy”.

Los huracanes son ciclones que se desarrollan en aguas cálidas tropicales y sustentan vientos que exceden velocidades de 118 kilómetros por hora. Estas tormentas son capaces de producir peligrosos vientos, lluvias torrenciales e inundaciones.

Los huracanes están formados por un conjunto de fuertes tormentas. Estas tormentas sólo pueden crecer y desarrollarse a nivel de huracán con la combinación de factores del océano y de la atmósfera. En el océano se requieren temperaturas mayores de los 26.5 °C (81 °F). El calor y la humedad de las aguas oceánicas son finalmente la fuente de energía de los huracanes. Los ciclones tropicales se debilitan rápidamente cuando viajan sobre tierra o aguas más frías, o sea en localizaciones sin suficiente calor o humedad o ambas.

En la figura 1.1 los colores amarillo, anaranjado y rojo muestran temperaturas del agua suficientes para sustentar el desarrollo de huracanes (mayores a 26.5°C).

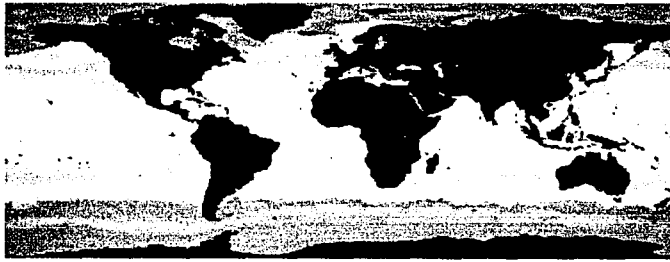


Figura 1.1 Mapa de las temperaturas en la superficie del mar en la estación de verano.

Para que un huracán se desarrolle se requieren humedades relativas altas en la troposfera media y baja, además de aguas oceánicas cálidas. La humedad relativa alta reduce la evaporación de las nubes y maximiza el calor latente liberado debido a la precipitación (calor liberado al condensarse el agua y precipitarse). Este aumento de calor latente es crítico para el crecimiento del sistema.

Los huracanes siguen un ciclo desde su nacimiento hasta su muerte. Un disturbio tropical con el tiempo puede crecer a un nivel mucho más intenso aumentando sus vientos sostenidos.

El periodo de vida de un huracán varia mucho, puede crearse y disiparse en un mismo día o durar hasta dos o tres semanas. El fenómeno puede comenzar como una tormenta fuerte sobre las aguas oceánicas. Cuando la perturbación atmosférica a llegado al grado de depresión tropical, puede alcanzar al siguiente paso, tormenta tropical, en tan poco tiempo como medio día o tanto como unos dos días, o nunca llegar a ese nivel. Lo mismo ocurre para pasar de tormenta tropical al grado de huracán. Todo esto es determinado por las condiciones atmosféricas y oceánicas en el lugar donde se localiza el fenómeno y de las condiciones océano-meteorológicas en su cercanía.

1.2 Desarrollo de los Ciclones Tropicales

Los huracanes tienen su origen en latitudes que van desde los 8° hasta los 15° hacia el Norte y el Sur del ecuador. Este proceso ayuda a equilibrar la temperatura atmosférica y el balance de humedad entre las zonas tropicales y no tropicales.

1.2.1 Depresión Tropical

Cuando un grupo de fuertes tormentas se mantienen cercanas el suficiente tiempo bajo las condiciones atmosféricas apropiadas, pueden organizarse en una depresión tropical. Comienza la circulación de vientos hacia el centro y hacia arriba del fenómeno, por el efecto de Coriolis se inicia la rotación antihoraria (en el hemisferio norte) del sistema. Al fenómeno se le llama depresión tropical cuando esta organización y circulación de los vientos se puede observar claramente. Los vientos sostenidos cerca del centro oscilan entre los 37 a 64 kilómetros por horas en esta etapa de crecimiento del fenómeno.

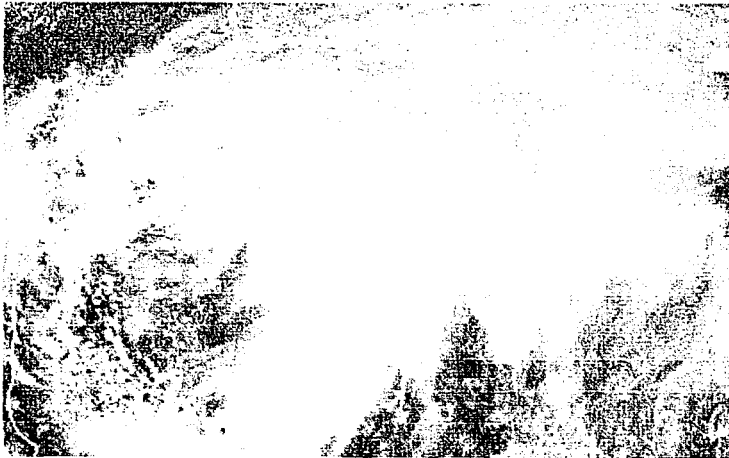


Figura 1.2 Ejemplo de Depresión Tropical.

1.2.2. Tormenta Tropical

Cuando la depresión tropical se ha intensificado al punto de que sus vientos sostenidos cerca del centro del fenómeno alcanzan el rango de 64 a 118 kilómetros por hora, se le asigna la categoría de tormenta tropical y se le establece un nombre. En esta etapa las tormentas se vuelven más organizadas y el movimiento circular de rotación es más notable y más parecido a la forma típica de un huracán.

Una tormenta tropical puede causar muchos problemas y daños sin llegar a alcanzar la categoría de huracán. La mayor parte de los problemas causados por una tormenta tropical se deben a la gran cantidad de lluvias que provocan en tierra.

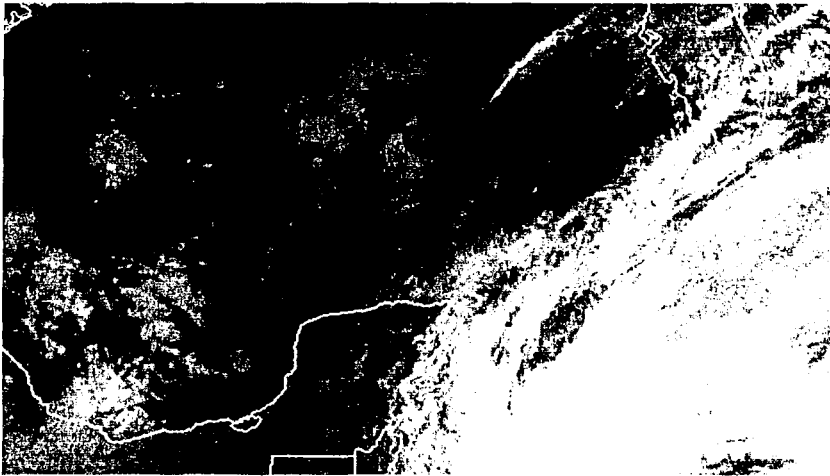


Figura 1.3 Ejemplo de Tormenta Tropical.

1.2.3 Huracán

Si las presiones en el centro de la tormenta tropical continúan descendiendo el ciclón se intensifica al grado de huracán, con vientos sostenidos cerca del centro de más de 118 kilómetros por hora. Se puede observar una clara rotación del sistema alrededor de su centro el cual se llama "ojo del huracán", que se caracteriza por ser una zona de relativa calma rodeada por las zonas de máximos vientos y máxima nubosidad del sistema. Desde esta zona se extienden larga bandas nubosas y de precipitación que son llamadas bandas espirales de lluvia.

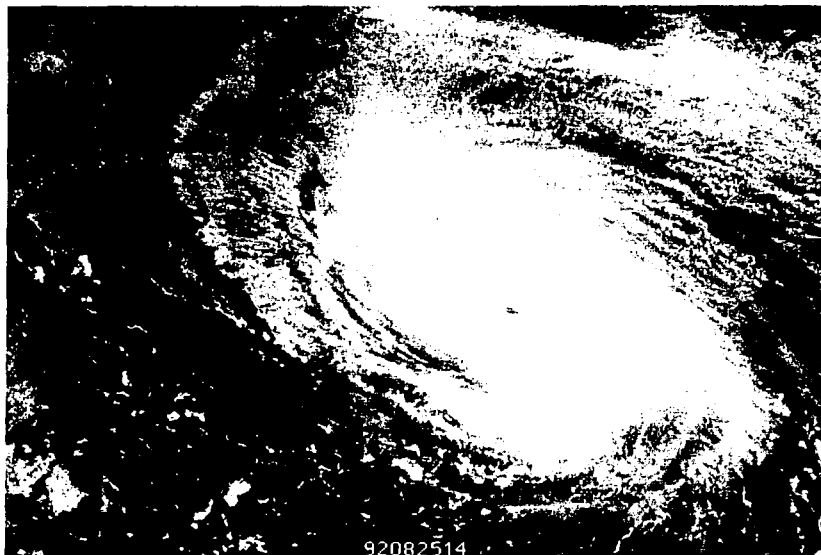


Figura 1.4 Ejemplo de huracán.

La categoría de huracán está a su vez subdividida en cinco clases, de la 1 a la 5, siendo la quinta la más energética y destructiva. Esta clasificación depende de la intensidad de los vientos máximos sostenidos y se conoce como la escala Saffir-Simpson.

Categoría	Clave	Velocidad de viento (km/h)	Presión central (mb)
Depresión Tropical	DT (1)	37 a 64	-
Tormenta Tropical	TT (2)	64 a 118	-
Huracán Clase 1	H1 (3)	118 a 154	Mayor o igual a 980
Huracán Clase 2	H2 (4)	154 a 178	965 a 979
Huracán Clase 3	H3 (5)	178 a 210	945 a 964
Huracán Clase 4	H4 (6)	210 a 250	920 a 944
Huracán Clase 5	H5 (7)	Más de 250	Menor a 920

Tabla 1.1 Clasificación de los ciclones tropicales según la escala Saffir-Simpson.

Según las condiciones atmosféricas y oceánicas un huracán se puede mantener por una o dos semanas. Un huracán requiere de gran cantidad de energía que extrae del agua caliente del mar para mantenerse; una vez que se pierde esa fuente de energía, al entrar a tierra o a una zona de agua fría, el huracán se disipa muy rápidamente.

1.3 Movimiento de los huracanes

En el modelo atmosférico existen tres *cinturones* principales de presión

El cinturón de calmas *subtropicales* o "Latitud de los Caballos", que se localiza en ambos hemisferios alrededor de los 30° de latitud, presenta una marcada tendencia a mantener un sistema de alta presión generado por un proceso adiabático constante, debido a lo anterior en esas regiones se mantiene una baja humedad y por lo mismo cielos claros la mayor parte del año.

El cinturón *subpolar* de baja presión, ubicado en latitudes mayores a los 65°, se presenta principalmente un efecto térmico de mayor temperatura en el agua de los océanos que en la zona terrestre, lo cual genera una depresión con respecto a la alta presión constante sobre los casquetes polares. Los casquetes polares con bajas temperaturas y en consecuencia baja humedad, presentan una zona de baja presión todo el año.

Los vientos del Este de ambos hemisferios convergen en un área cercana al ecuador llamada la "Zona Intertropical de Convergencia (ITCZ)" o zona de calmas ecuatoriales donde debido a el constante calentamiento solar presenta una región de alta convección y por lo mismo una zona de baja presión constante, produciendo una banda estrecha de nubes y tormentas que cercan las porciones del globo.

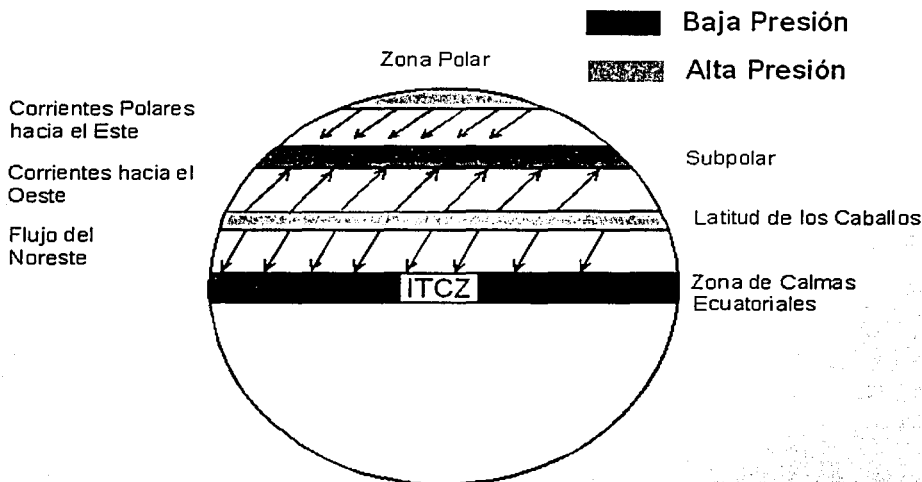


Figura 1.5 Sistema idealizado del comportamiento terrestre de presiones y vientos.

La trayectoria de los huracanes depende principalmente de la zona de viento en la cual está situado. Un huracán que se origina en el Atlántico Tropical del Este, por ejemplo, es conducido hacia el Oeste por los vientos comunes en las zonas tropicales. Eventualmente, estas tormentas dan vuelta hacia el Noreste alrededor del alto subtropical y emigran en

latitudes más altas. Consecuentemente, el Golfo de México y las costas del Este de los Estados Unidos están en el riesgo de experimentar uno o más huracanes cada año.



Figura 1.6 Trayectoria que siguen los huracanes.

Los huracanes se mueven en las latitudes medias y son conducidos hacia el Noroeste por los vientos del Oeste, de vez en cuando se intercambian con los sistemas atmosféricos de la latitud media. Los huracanes ganan su energía en el agua superficial caliente de las zonas tropicales, lo que explica el por qué los huracanes se disipan rápidamente una vez que llegan a agua fría.

1.4 Actividad Global

Aunque los huracanes que llegan a las costas Atlánticas y Pacíficas reciben mucha atención, éstos representan solamente el 25% de los ciclones tropicales a nivel mundial. Estas peligrosas tormentas pueden presentarse en cualquier océano, excepto en el Ártico. En la figura 1.7 se muestran las zonas en el planeta donde se originan este tipo de tormentas.

Anualmente se presentan aproximadamente 96 ciclones tropicales en todo el mundo. Una de las áreas más afectadas es el Noroeste del Océano Pacífico que tiene en promedio 25 huracanes cada año. Otra zona de gran actividad es el Océano Índico, favorecida por la cercanía a la Zona de Convergencia Intertropical y las aguas calientes del Océano Índico.

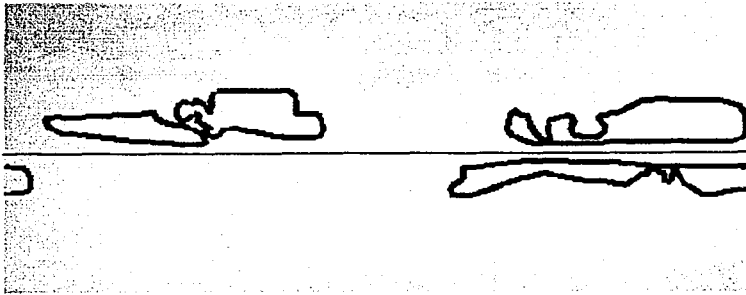


Figura 1.7 Regiones donde se originan ciclones tropicales.

En el hemisferio Sur también se presentan ciclones tropicales pero estos se desarrollan solamente en el Oeste del Océano Pacífico y en el Océano Índico. Cerca del ecuador existen áreas de agua caliente que generan igualmente fuerte tormentas, pero no se pueden desarrollar a nivel de tormenta tropical o huracán ya que la fuerza de Coriolis en esa zona es casi nula.

1.5 Interacción de los huracanes con el fenómeno de El Niño

Muchos científicos han investigado la interacción entre el fenómeno de El Niño y la frecuencia de ocurrencia de los huracanes. Básicamente el fenómeno de El Niño está relacionado con una superficie del agua más caliente de lo normal en el Pacífico ecuatorial. En general, se ha observado que El Niño provoca más tormentas y huracanes en la zona Este del Pacífico (costas mexicanas) y menor número en el Atlántico, Golfo de México y Caribe.

En la tabla 1.2 se muestra el efecto descrito anteriormente: cuando se presenta El Niño el número promedio de tormentas tropicales y huracanes disminuye en el Atlántico y aumenta en el Pacífico

Fenómeno	Océano Atlántico		Océano Pacífico	
	Promedio normal	Promedio con El Niño	Promedio normal	Promedio con El Niño
Tormentas	9.4	7.1	16.7	17.9
Huracanes	5.8	4.0	9.8	10.0
Huracanes Intensos	2.5	1.5	4.8	5.5

Tabla 1.2 Efecto de El Niño en el número de huracanes.

En la figura 1.8 se presenta un ejemplo del cambio de temperatura observado en el Pacífico en el año de 1997.

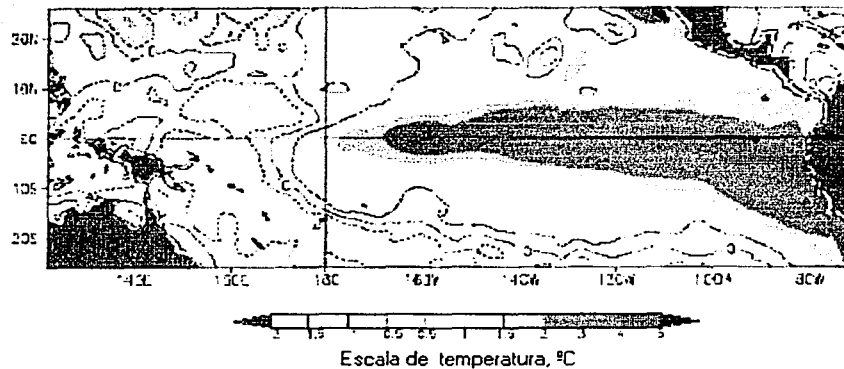


Figura 1.8 Temperatura observada en el Pacífico en el año de 1997.

1.6 Presencia de huracanes en México

Anualmente se presentan alrededor de veintitrés huracanes que se aproximan a menos de 2° de las costas mexicanas, siendo mucho mayor la presencia de dicho fenómeno en la vertiente del Pacífico que en la del Atlántico. El número de ciclones tropicales que se aproximaron a las costas del Pacífico mexicano alcanzan el valor de 15 eventos como máximo y 3 como mínimo, mientras que en el Golfo de México y mar Caribe se presentan 5 eventos como máximo y solamente 1 evento como mínimo.

En la figura 1.9 se puede observar el mapa que muestra las posiciones de los 714 huracanes presentados en la vertiente del Océano Pacífico Norte, así como las trayectorias correspondientes a los 514 para la vertiente del Atlántico Norte en los últimos cincuenta años.

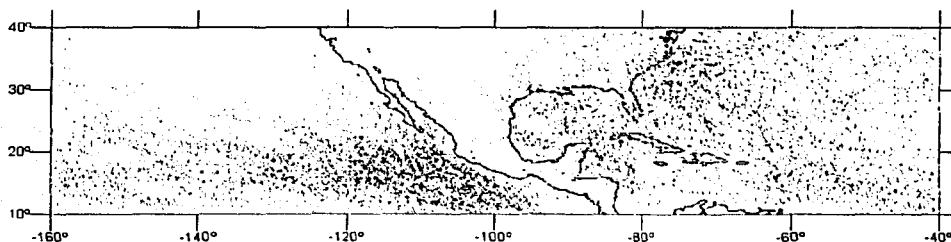


Figura 1.9 Trayectorias históricas de ocurrencia de huracanes en la vertientes Pacífica y Atlántica.

En las figura 1.10. y 1.11 muestran el número de eventos que se presentaron en el Pacífico y en el Atlántico, respectivamente, durante los años de 1950 al 2000.

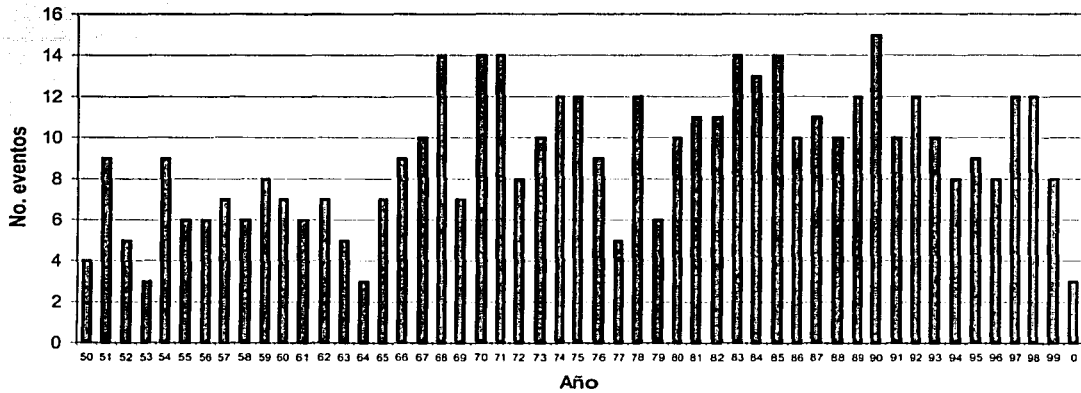


Figura 1.10 Número de eventos que se aproximaron a las costas del Pacífico mexicano, durante los años de 1950 al 2000.

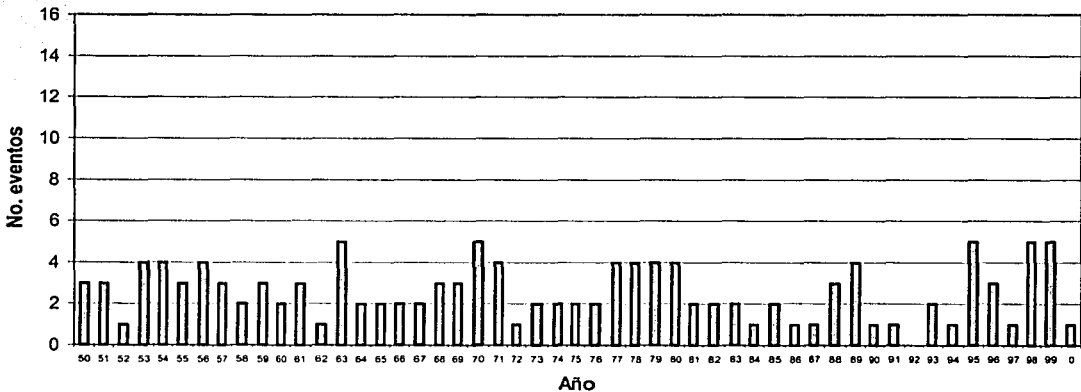


Figura 1.11 Número de eventos que se aproximaron a las costas del Atlántico mexicano, durante los años de 1950 al 2000.

Durante los últimos cincuenta años, las costas del Pacífico mexicano se vieron afectadas por eventos tipo tormenta tropical con una duración aproximada de 659 días, mientras que solamente se presentó poco más de 1 día de afectación directa por un huracán clase 5, lo cual demuestra que la vertiente del Pacífico mexicano es azotada por un gran número de

eventos poco intensos de gran duración, mientras que los eventos de mayor intensidad tienen una duración mucho menor como se observa en la figura 1.12.

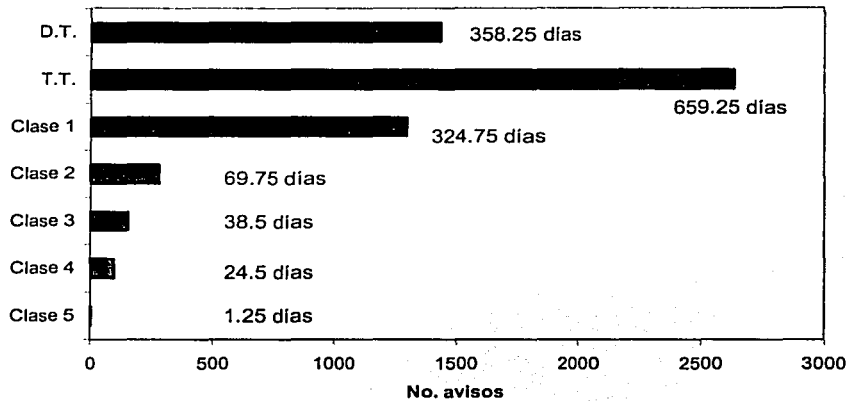


Figura 1.12 Número de avisos que tocaron tierra en el Pacífico y su tiempo de duración.

A pesar de tener una menor presencia de ciclones tropicales en el Océano Atlántico, las intensidades y duraciones de los eventos son mayores que en las del Pacífico. Se tiene una duración total de 129 días durante los últimos cincuenta años para eventos tipo tormenta tropical, mientras que para eventos intensos se observan en total 6 días de afectación directa de eventos clase 5, como se muestra en la figura 1.13.

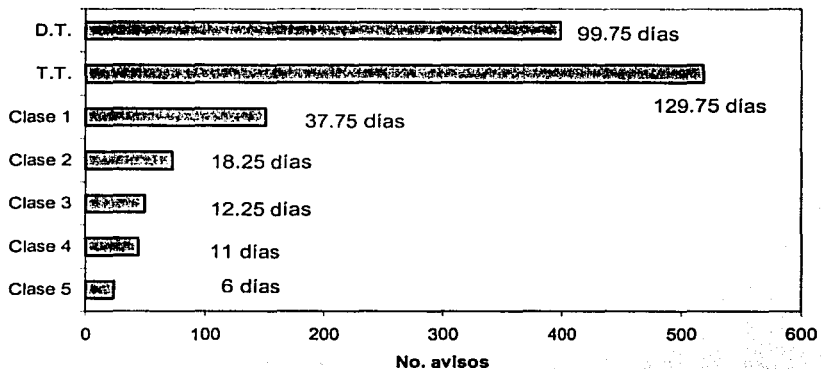


Figura 1.13 Número de avisos que tocaron tierra en el Atlántico y su tiempo de duración.

En las figuras 1.14 y 1.15 se presenta en resumen el número de eventos de forma histórica y su intensidad relacionada para la vertiente del Pacífico y del Atlántico respectivamente.

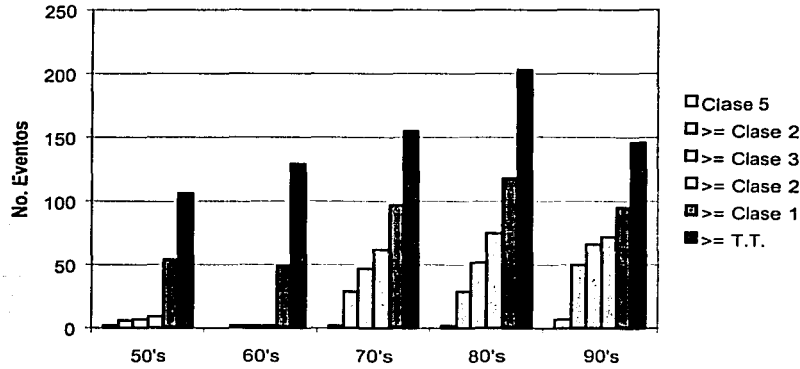


Figura 1.14 Resumen de eventos presentados en el Océano Pacífico por década.

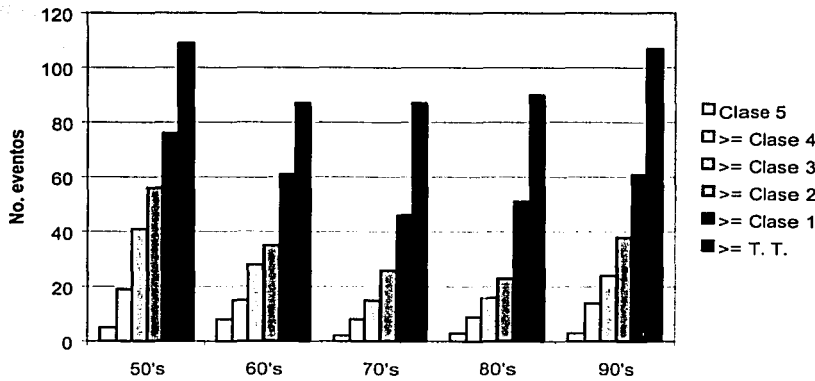


Figura 1.15 Resumen de eventos presentados en el Océano Atlántico por década.

Esencialmente, debido a que no se cuenta con un programa de instrumentación y medición nacional, la información histórica recabada sobre la presencia y acción de huracanes en México ha sido muy poca. Para subsanar esta deficiencia se ha recurrido a bases de datos como la del NDBC (*National Data Bouy Center*) y NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), para tener datos meteorológicos y oceanográficos asociados a huracanes.

Los daños debidos a la acción de los huracanes sobre las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México se traducen en graves pérdidas humanas y enormes sumas de dinero por daños materiales que anualmente afectan el desarrollo del país. Gran parte del daño ocasionado en las poblaciones y municipios de México es debido a la acción del viento generado por huracanes, así como al oleaje actuante sobre las costas y a las inundaciones que se presentan debido a la marea de tormenta y a la precipitación.

1.7 Vulnerabilidad por presencia de huracanes en la República Mexicana

1.7.1 Antecedentes de vulnerabilidad por presencia de huracanes

La presencia y acción de los huracanes sobre el litoral mexicano se traduce en un riesgo inminente para las poblaciones e infraestructura costera, con pérdidas millonarias a lo largo de las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe.

Las edificaciones e infraestructura construidas a lo largo de las costas mexicanas no se diseñan considerando un análisis de riesgo por la acción destructiva de los huracanes. La mayoría de las poblaciones costeras en constante crecimiento ignoran los efectos de los huracanes, aun siendo ellas las más afectadas por la presencia de este fenómeno.

Durante varios años la vulnerabilidad de las costas mexicanas por la presencia de huracanes ha sido una constante. Los huracanes Paulina (1997) en el Océano Pacífico y Gilberto (1988) en el Océano Atlántico, han sido los huracanes más intensos y más destructivos que han azotado las costas mexicanas en los últimos años. Ambos causaron pérdidas millonarias en infraestructura y un gran número de vidas humanas probando que, inclusive en las costas de mayor desarrollo (Acapulco y Cancún), el diseño de la infraestructura es inadecuado para resistir los embates de huracanes de gran magnitud.

El riesgo debido a la presencia de huracanes durante los últimos cincuenta años en México parece no ser suficiente para que las autoridades se preocupen por realizar o promover estudios sobre la materia, traducándose en un grave retraso en comparación con otros países de la región que cuentan con programas integrales de riesgo por presencia de huracanes.

1.7.2 Factores físicos de riesgo de los huracanes

1.7.2.1 Vientos ciclónicos

Los vientos generados por huracanes pueden alcanzar y sobrepasar los 250 km/h en el límite del radio de máximos vientos ciclostróficos, con rachas de más de 300 km/h. El poder destructivo del viento aumenta con respecto al cuadrado de la velocidad, esto significa que al triplicar la velocidad del viento el factor destructivo aumenta hasta en nueve veces.

El viento, ya sea por su impacto directo o por objetos arrastrados por él, es el fenómeno que produce la máxima destrucción en infraestructura en zonas costeras.

Dado que la topografía juega un papel muy importante en la configuración del patrón de velocidades del viento, éste se ve disminuido por obstáculos físicos y áreas abruptas como montañas y bosques. En la figura 1.16 se muestra el límite geográfico de las zonas costeras, por debajo de 200 metros sobre el nivel del mar (msnm), consideradas por el grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, como las zonas vulnerables por presencia de huracanes.

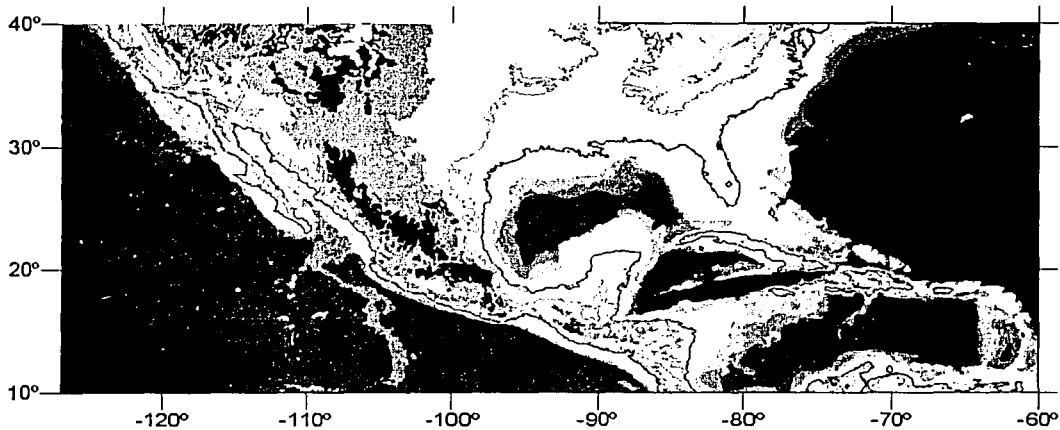


Figura 1.16 Límite de zonas de alta vulnerabilidad por presencia de vientos ciclónicos.

1.7.2.2 Lluvias e inundaciones

Las lluvias que acompañan a los huracanes varían de forma dramática y son muy difíciles de predecir. Estas pueden ser muy intensas y durar varios días o simplemente se pueden disipar en cuestión de horas. La topografía local, la humedad, y la velocidad del viento ciclónico son factores que afectan directamente a la cantidad de precipitación producida por huracanes.

Las destrucciones que pueden ocurrir debido a la presencia de lluvias extraordinarias se pueden dividir en dos:

1. La más directa es cuando la lluvia se infiltra dentro de las estructuras, causando daños estructurales internos. Si la lluvia es persistente, las estructuras simplemente se colapsan debido al peso del agua absorbida, los deslaves de cuerpos sólidos como son macizos rocosos y grandes estructuras de suelo ocurren comúnmente, esto debido al sobresaturamiento de dichos cuerpos y a su eventual colapso por sobrepeso.
2. La más común forma de daño ocurre cuando se generan inundaciones tierra adentro, lo cual causa severos daños a la infraestructura y poblaciones, como son por ejemplo, el caso de las vías de comunicación, las líneas telefónicas y las instalaciones eléctricas.

1.7.2.3 Marea de tormenta

La marea de tormenta se define como una sobrelevación temporal del nivel del mar. Esta se debe principalmente a la conjunción de varios factores como: la fuerza de arrastre que el viento genera en el cuerpo de agua al aproximarse a la costa; el equilibrio hidrostático que el agua experimenta para equilibrar la depresión atmosférica; la superposición del oleaje, y la disminución del fondo marino. Se estima que por cada 100 mb que disminuye la presión

atmosférica en el huracán, el nivel del mar aumenta aproximadamente 1 m en la zona cercana al centro del huracán solamente por la disminución de presión.

La magnitud de la marea de tormenta en un sitio determinado está en función directa a los vientos ciclónicos máximos y a su configuración geométrica con respecto al radio ciclostrofico que se presente. Se debe de considerar también la configuración del fondo marino en las zonas de aguas poco profundas o someras.

La marea de tormenta ocasiona los daños más grandes y directos en las comunidades costeras, 90% de las muertes ocurridas en los grandes desastres históricos en los últimos veinte años sobre las costas mexicanas se deben a la presencia y acción de la marea de tormenta. Las inundaciones de una marea de tormenta afectan directamente a las zonas más bajas, extendiéndose hasta varios kilómetros tierra adentro.

CAPÍTULO 2. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD EN GUERRERO

2. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD EN GUERRERO

2.1 Introducción

2.1.1 Estado de Guerrero

El Estado de Guerrero cuenta con una superficie total de 63 794 km² y se encuentra localizado al sur de la República Mexicana, entre los paralelos 16° 15' y 18° 48', de latitud Norte y los meridianos 98° 05' y 102° 10' de longitud Oeste, está orientado de Suroeste a Sureste y colinda al Norte con los estados de Michoacán, México, Morelos y Puebla, al Este con el estado de Oaxaca, y al Sur y Oeste con el Océano Pacífico. En su totalidad su territorio está situado sobre la Sierra Madre del Sur, su litoral es una estrecha llanura costera limitada por cerros de baja altura que forman a su vez pequeñas bahías y caletas, en las tierras bajas se encuentran lagunas costeras y marismas. Las bahías más importantes son: Petacalco, Zihuatanejo, Potosí, Tequepa, Acapulco y Dulce, y; las lagunas de Nuxco, Mitla, Coyuca, Tres Palos, Tecomate y Chantengo. Sus principales ríos son: Balsas, Bejucos, Amacuzac, Petatlán, Coyuca, Papagayo, Nexapa y Marquelia.

Guerrero se conforma por 76 municipios y está dividido en 7 regiones económicas: costa grande, costa chica, tierra caliente, centro, montaña, zona norte y Acapulco. Cuenta con una población superior a los 3 000 000 de habitantes distribuidos, por municipios, según se muestra a continuación.

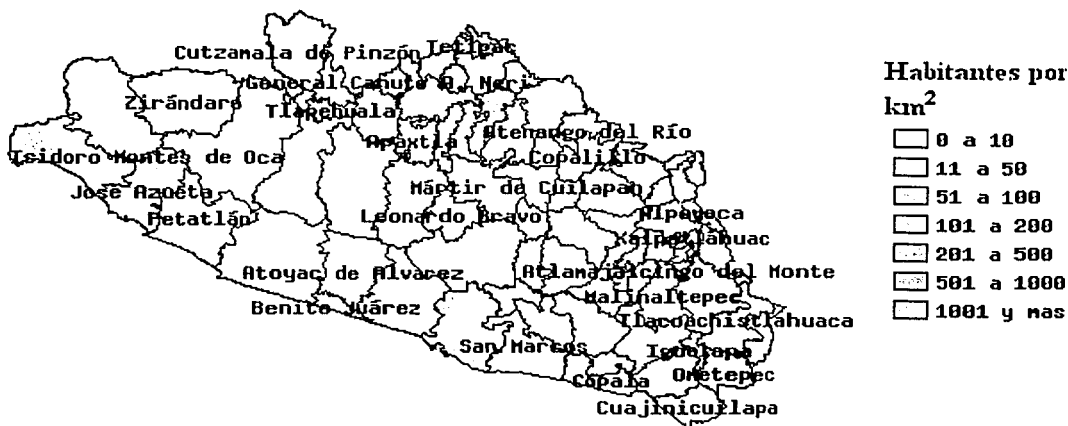


Figura 2.1 Municipios y densidad de población del estado de Guerrero

La siguiente figura es un esquema general de la topografía del Estado, en ella se puede observar que la zona costera está delimitada por una región montañosa. La importancia de esta configuración se describirá en el capítulo 4.

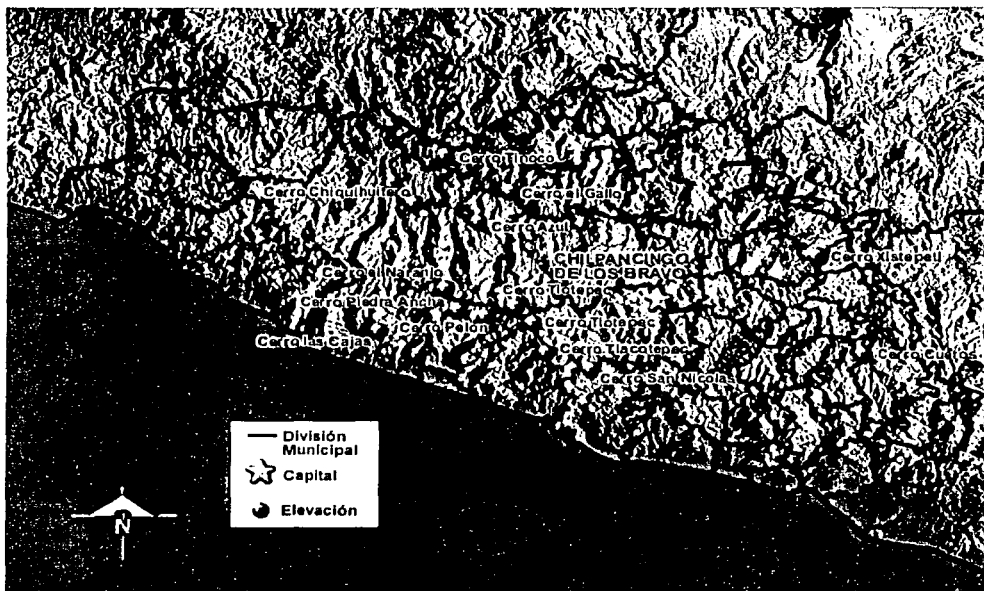


Figura 2.2 Topografía general del Estado

2.1.2 Escurrecimientos y precipitación

El estado de Guerrero cuenta con tres regiones hidrológicas correspondientes a los ríos más importantes de la entidad, cada región está subdividida a su vez en cuencas, tal como se muestra en la tabla 2.1. En la misma tabla se presenta también el porcentaje del área total del Estado que cubre cada cuenca.

Región	Cuenca	Porcentaje de la superficie estatal
Balsas	R. Balsas-Mezcala	22.66
	R. Balsas-Zirándaro	15.09
	R. Balsas-Infiernillo	5.23
	R. Tlapaneco	5.53
	R. Grande de Amacuzac	2.75
	R. Cutzamala	2.39
Costa Grande	R. Atoyac y otros	8.80
	R. Coyuquilla y otros	5.54
	R. Ixtapa y otros	5.70

Región	Cuenca	Porcentaje de la Superficie estatal
Costa Chica - Río Verde	R. La Arena y otros	0.27
	R. Ometepec o Grande	7.10
	R. Nexpa y otros	7.56
	R. Papagayo	11.38

Tabla 2.1 Regiones hidrológicas del estado de Guerrero.

A continuación se muestra la ubicación de cada región hidrológica con sus cuencas, identificadas por colores similares.

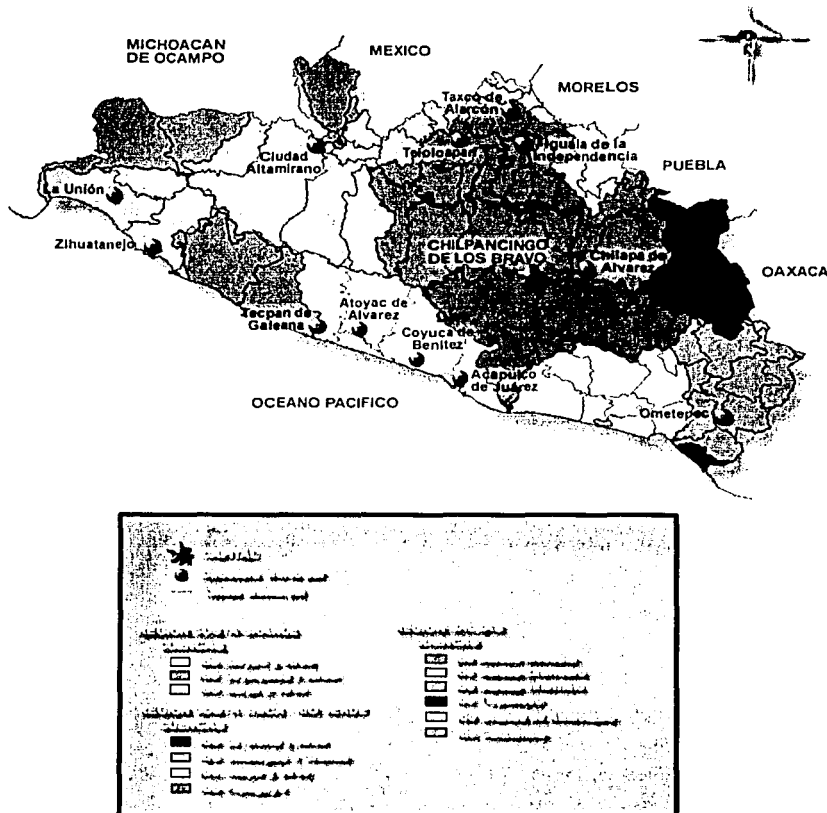


Figura 2.3 Mapa de localización de las cuencas de Guerrero

A continuación se presenta una tabla resumen de los registros de precipitación desde el año 1958 hasta 1999 para las estaciones hidrológicas más importantes del Estado.

Estación	Periodo	Precipitación promedio (mm)	Precipitación del año más seco (mm)		Precipitación del año más lluvioso (mm)	
			Año	Precipitación	Año	Precipitación
Acapulco	1973-1999	1 313.5	1994	632.2	1996	2 002.2
Santo Domingo	1967-1996	1 755.9	1977	752.2	1984	3 010.6
Chilpancingo	1969-1999	911.1	1970	607.3	1989	1 188.2
Aratichangio	1958-1996	685.3	1971	359.0	1958	1 003.0

Tabla 2.2 Resumen de los registros de precipitación 1958 – 1999.

Las isoyetas anuales correspondientes a Guerrero para el mismo periodo (1958-1999) se muestran en la figura 2.4, en ella se observa que las zonas altas son las que reciben la mayor precipitación a largo del año.



Figura 2.4 Distribución de la precipitación en Guerrero

2.1.3 Vías de comunicación

2.1.3.1 Carreteras

Existe comunicación por carretera a las siete regiones del Estado; y de Guerrero con los estados colindantes: Morelos, Oaxaca, Michoacán, Puebla y Estado de México. Debido a su orografía 23 municipios no tienen acceso por vías pavimentadas, situación que provoca el rezago que prevalece en el desarrollo del Estado.

Cuenta con dos carreteras federales: la N° 95 que une el puerto de Acapulco con la ciudad de Cuernavaca, Morelos; y la N° 200 que recorre el litoral uniendo los puertos de Lázaro Cárdenas, Michoacán con Salina Cruz, Oaxaca. De acuerdo al número de kilómetros de carretera construidos, destacan en primer lugar las carreteras revestidas con un 45.71%; le siguen las pavimentadas con un 33.28%; las de terracería con un 17% y quedan a la zaga las de brecha con un 3.28%.

La infraestructura a nivel nacional tiene, según datos de 1992 (la cifra excluye el kilometraje de la Autopista del Sol inaugurada a fines de 1993), una longitud de 241 962 kilómetros, donde Guerrero participada con 8 420 kilómetros, esto es un 3.5% del total nacional.

2.1.3.2 Ferrocarriles

El estado de Guerrero acusa un considerable rezago en materia de desarrollo ferroviario, ya que a nivel nacional ocupa el último lugar en infraestructura instalada con sólo 109.2 kilómetros.

El transporte ferroviario cuenta con cuatro estaciones de pasajeros en:

- Buenavista de Cuellar
- Naranjos (municipio de Iguala)
- Iguala
- Apipilulco (municipio de Colula)

y una estación de carga en Iguala.

La entidad cuenta con tan sólo una línea férrea, que parte de la ciudad de México y pasa por Cuernavaca, Zacatepec y Jojutla en el estado de Morelos. Se interna a Guerrero por el municipio de Buenavista de Cuellar, llega a la ciudad de Iguala y termina en la estación del Balsas. Tiene una extensión de 109 kilómetros y su recorrido es casi paralelo a la carretera federal No. 95.

2.1.3.3 Aeropuerto

El Estado cuenta con dos aeropuertos internacionales, ubicados en las ciudades de Acapulco y Zihuatanejo; tiene también 50 aeródromos distribuidos en 37 municipios del Estado.

Capítulo 2. Importancia del análisis de vulnerabilidad en Guerrero

El aeropuerto Internacional Juan N. Álvarez de Acapulco de Juárez, está construido con una superficie de 464 hectáreas y funciona las 24 horas del día. Cuenta con edificio terminal y torre de control, además está equipado con dos pasillos telescópicos en la última sala de espera, estacionamiento para 267 automóviles, camino de acceso, plataforma para cuarenta aparatos de aviación general, calles de rodaje, camino perimetral, cercados e iluminación, zona para almacenamiento de combustibles y área de jardín.

Tiene dos pistas, una de 1 700 metros y otra de 3 300 metros de longitud hechas de concreto hidráulico. Actualmente operan 5 compañías comerciales internacionales y 4 nacionales.

El aeropuerto internacional de Zihuatanejo, cuyo nombre oficial es el del mismo puerto, se encuentra ubicado a 12 kilómetros de la ciudad, es de tipo turístico, está construido sobre una superficie de 558 hectáreas y su elevación es de 6 metros sobre el nivel del mar.

Cuenta con una pista de 2 500 metros de longitud por 60 metros de ancho, tiene dos plataformas, una para aviación comercial y otra para la aviación general con 4 y 25 posiciones respectivamente, también posee edificio terminal comercial y edificio para la aviación general, cada uno con estacionamiento propio; torre de control, casa de máquinas y zona de combustible.

2.1.4.4 Puertos

El estado de Guerrero cuenta con una infraestructura portuaria que integra a tres puertos ubicados en los municipios de Acapulco, Zihuatanejo y Tecpan de Galeana.

- Puerto de Acapulco

Se considera como puerto de altura con un muelle de 554 metros lineales, para barcos de calado de 9 metros. Su importancia radica en ser uno de los puertos turísticos más importantes de la costa del Pacífico mexicano.

Sus servicios se enfocan en la atención al pasajero en cruceros turísticos y como muelle de altura con manejo semiespecializado de contenedores y cargas generales. Dentro de su infraestructura cuenta con 5 700 metros cuadrados de bodega y 8 300 metros cuadrados de patios de almacenamiento. Las obras de atraque de uso público se atienden a través de 7 muelles para uso turístico, carga general, frutícola y pesquera; mientras que las obras de uso exclusivo se atienden en los muelles de PEMEX y la Armada-Astillero Icacos, para el suministro de combustible y operaciones militares respectivamente.

- Puerto de Ixtapa (puerto en construcción)

Se encuentra en construcción y ofrece servicios de turismo. En la ciudad de Ixtapa se cuenta ya con una marina privada en operación que aloja embarcaciones de recreo y deporte.

- Puerto Marqués (Acapulco)

Puerto Marqués proporciona servicios para barcos de bajo calado particularmente para servicios turísticos.

2.2 Importancia del análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Guerrero por su localización es uno de los estados de la República más vulnerables ante la presencia de fenómenos naturales, como sismos y huracanes. Anualmente en las costas guerrerenses se presentan alrededor de 5 ciclones con intensidades hasta huracán clase 4. Este Estado se ha visto seriamente afectado por la presencia de estos fenómenos, el ejemplo reciente más significativo se presentó en el año de 1997 con el paso del huracán Paulina y que afectó sobretudo las costas de Guerrero y Oaxaca, ocasionados daños muy importantes a poblaciones, infraestructura y recursos naturales.



Figura 2.5 Fotos de desastres ocasionados por el huracán Paulina por su paso sobre el estado de Guerrero.

En las fotos anteriores se observan algunos de los desastres ocasionados por el huracán Paulina en su paso por el municipio de Acapulco de Juárez, cuando quedó patente lo vulnerable que fue este municipio ante la presencia de dicho evento.

2.3 Estudio histórico de la presencia de huracanes en la costa de Guerrero

En las cercanías de la costa de Guerrero se han presentado 254 huracanes de diversas intensidades en el periodo de registro, que comprende de 1949 a 2000. En la tabla 2.1 se muestra el nombre de los huracanes y el año en el que se presentaron en la zona de estudio, delimitada por -104° a -98° en longitud y 12° a 18° en latitud.

No.	Nombre	Año
1	S/n	1949
2	S/n	1950
3	S/n	1951
4	S/n	1951
5	S/n	1951
6	S/n	1951
7	S/n	1951
8	S/n	1951
9	S/n	1951
10	S/n	1952
11	S/n	1954
12	S/n	1954
13	S/n	1954
14	S/n	1954
15	S/n	1954
16	S/n	1954
17	S/n	1955
18	S/n	1955
19	S/n	1956
20	S/n	1956
21	S/n	1957
22	S/n	1957
23	S/n	1957
24	S/n	1958
25	S/n	1958
26	S/n	1958
27	S/n	1959
28	S/n	1959
29	S/n	1959
30	Annette	1960
31	Bonny	1960
32	Celeste	1960
33	Diana	1960
34	Estelle	1960
35	Fernanda	1960
36	Iva	1961

No.	Nombre	Año
37	Liza	1961
38	Tara	1961
39	Valeria	1962
40	Doreen	1962
41	Emily	1963
42	Jen-kath	1963
43	Lillian	1963
44	Wallie	1965
45	Berenice	1965
46	Adele	1966
47	Dolores	1966
48	Ione	1966
49	Lorraine	1966
50	Maggie	1966
51	Agatha	1967
52	Bridget	1967
53	Denise	1967
54	Francene	1967
55	Priscila	1967
56	Annette	1968
57	Bonny	1968
58	Celeste	1968
59	Gwen	1968
60	Iva	1968
61	Kathleen	1968
62	Liza	1968
63	Noami	1968
64	Paulina	1968
65	Rebeca	1968
66	Tara	1968
67	Ava	1969
68	Berenice	1969
69	Glenda	1969
70	Eileen	1970
71	Francesca	1970
72	Helga	1970

No.	Nombre	Año
73	Ione 2	1970
74	Kristen	1970
75	Lorraine	1970
76	Norma	1970
77	Patricia	1970
78	Agatha	1971
79	Bridget	1971
80	Denise	1971
81	Georgette	1971
82	Ilsa	1971
83	Jewel	1971
84	Katrina	1971
85	Lily	1971
86	Nanette	1971
87	Olivia	1971
88	Priscilla	1971
89	Gwen	1972
90	Hyacinth	1972
91	Iva	1972
92	Ava	1973
93	Berenice	1973
94	Claudia	1973
95	Emily	1973
96	Florence	1973
97	Glenda	1973
98	Irah	1973
99	Aletta	1974
100	Dolores	1974
101	Francesca	1974
102	Norma	1974
103	Orlene	1974
104	Agatha	1975
105	Denise	1975
106	Eleanor	1975
107	Francene	1975
108	Ilsa	1975

No.	Nombre	Año
109	Jewel	1975
110	Priscila	1975
111	Annette	1976
112	Bonny	1976
113	Diana	1976
114	Hyacinth	1976
115	Iva	1976
116	Madeline	1976
117	Aletta	1978
118	Daniel	1978
119	Héctor	1978
120	Norman	1978
121	Paul	1978
122	Rosa	1978
123	Andrés	1979
124	Carlos	1979
125	Fefa	1979
126	Guillermo	1979
127	Hilda	1979
128	Ignacio	1979
129	Celia	1980
130	Isis	1980
131	Kay	1980
132	Lester	1980
133	Adrian	1981
134	Calvin	1981
135	Irwin	1981
136	Otis	1981
137	Aletta	1982
138	Olivia	1982
139	Paul	1982
140	Rosa	1982
141	Sergio	1982
142	Adolfo	1983
143	Dalila	1983
144	Gil	1983

Capítulo 2. Importancia del análisis de vulnerabilidad en Guerrero

No.	Nombre	Año	No.	Nombre	Año	No.	Nombre	Año	No.	Nombre	Año
145	Henriette	1983	174	Calvin	1987	203	Julio	1990	232	Gil	1995
146	Kiko	1983	175	Dora	1987	204	Lowell	1990	233	Henriette	1995
147	Lorena	1983	176	Eugenia	1987	205	Rachel	1990	234	Alma	1996
148	Manuel	1983	177	Greg	1987	206	Trudy	1990	235	Boris	1996
149	Tico	1983	178	Hilary	1987	207	Vance	1990	236	Douglas	1996
150	Winnie	1983	179	Irwin	1987	208	Carlos	1991	237	Elida	1996
151	Boris	1984	180	Lidia	1987	209	Delores	1991	238	Fausto	1996
152	Cristina	1984	181	Aletta	1988	210	Guillermo	1991	239	Herman	1996
153	Fausto	1984	182	Bud	1988	211	Hilda	1991	240	Blanca	1997
154	Genoveva	1984	183	Hector	1988	212	Ignacio	1991	241	Guillermo	1997
155	Iselle	1984	184	Iva	1988	213	Jimena	1991	242	Nora	1997
156	Julio	1984	185	Kristy	1988	214	Kevin	1991	243	Olaf	1997
157	Odile	1984	186	Lane	1988	215	Marty	1991	244	Paulina	1997
158	Polo	1984	187	Miriam	1988	216	Agatha	1992	245	Rick	1997
159	Simón	1984	188	Cosme	1989	217	Celia	1992	246	Blas	1998
160	Andrés	1985	189	Flossie	1989	218	Darby	1992	247	Estelle	1998
161	Blanca	1985	190	Gil	1989	219	Georgette	1992	248	Howard	1998
162	Fefa	1985	191	Ismael	1989	220	Javier	1992	249	Lester	1998
163	Guillermo	1985	192	Lorena	1989	221	Virgil	1992	250	Adrian	1999
164	Kevin	1985	193	Manuel	1989	222	Winifred	1992	251	Beatriz	1999
165	Olaf	1985	194	Narda	1989	223	Beatriz	1993	252	Dora	1999
166	Sandra	1985	195	Octave	1989	224	Calvin	1993	253	Aletta	2000
167	Terry	1985	196	Raymond	1989	225	Fernanda	1993	254	Carlota	2000
168	Agatha	1986	197	Boris	1990	226	Greg	1993			
169	Frank	1986	198	Douglas	1990	227	Hilary	1993			
170	Madeline	1986	199	Elida	1990	228	Irwin	1993			
171	Newton	1986	200	Fausto	1990	229	Jova	1993			
172	Paine	1986	201	Genoveva	1990	230	Lidia	1993			
173	Adrian	1987	202	Iselle	1990	231	John	1994			

Tabla 2.3 Nombre y año de ocurrencia de los huracanes que han afectado al Estado de Guerrero.

En la figura 2.6 se muestra en resumen los eventos presentados en la zona de interés por décadas. Se puede observar que en la década de los 80's se presentó el mayor número de eventos, alrededor de 70, la mayoría de estos eventos son depresiones tropicales y tormentas tropicales. En las décadas de los 70's y 90's se presentaron casi el mismo número de eventos que en la década anterior, pero en éstas hay presencia de huracanes más intensos (clase 4).

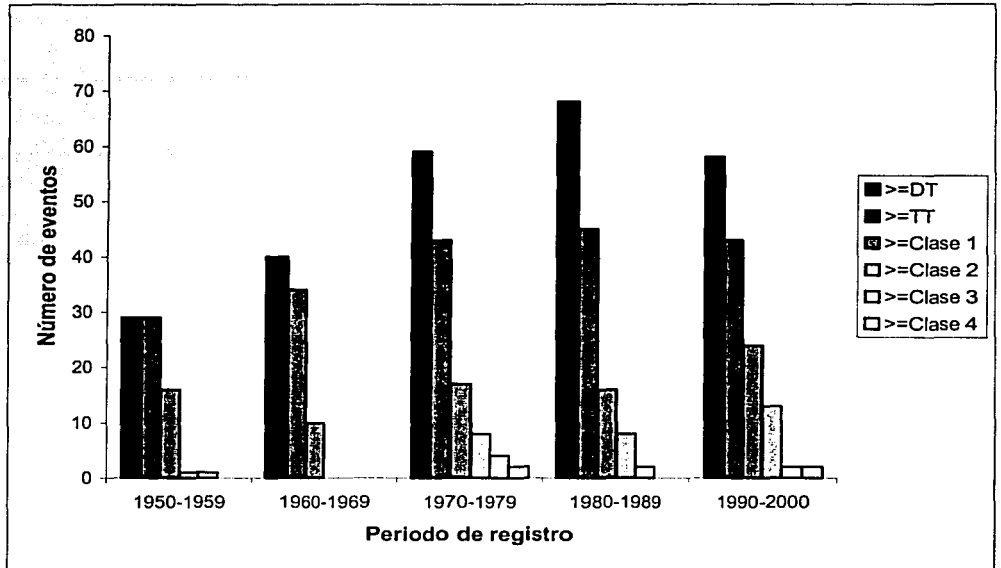


Figura 2.6 Eventos presentados en la zona de estudio desde 1950 al 2000.

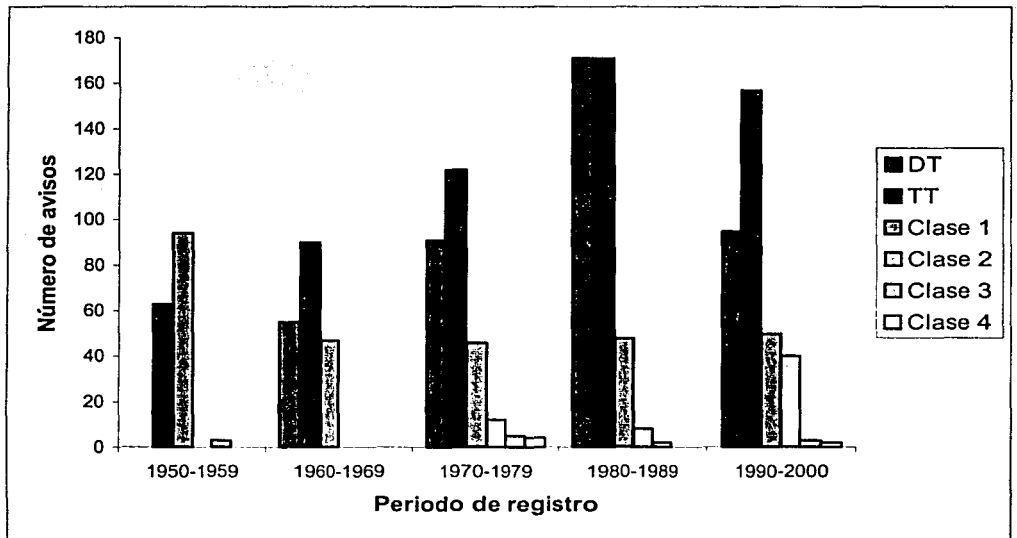


Figura 2.7 Avisos registrados en el área de estudio desde 1950 al 2000.

Con los 254 huracanes que se registraron se obtuvo un total de 1380 avisos (a cada 6 horas). En la figura 2.7 se muestran el número de avisos registrados por décadas. Como era de esperarse en la década de los 80's se presentó el mayor número de avisos, ya que fue la década con mayor actividad de huracanes.

Los huracanes más intensos que se han registrado en los últimos 50 años en la zona de estudio se alistan en la tabla 2.4, donde se muestra el año en el que se presentaron y su intensidad máxima alcanzada. Se detecta que el huracán clase 4 ha sido la intensidad más alta registrada en el área de interés.

Año	Nombre	Intensidad Máxima
1959	Sin nombre	Huracán 3
1971	Agatha	Huracán 2
1971	Bridget	Huracán 2
1971	Priscila	Huracán 2
1973	Ava	Huracán 3
1973	Emily	Huracán 3
1976	Annette	Huracán 4
1976	Madeline	Huracán 4
1979	Andrés	Huracán 2
1982	Sergio	Huracán 2
1983	Adolfo	Huracán 2
1983	Kiko	Huracán 3
1983	Lorena	Huracán 3
1984	Genoveva	Huracán 2
1984	Odile	Huracán 2
1985	Blanca	Huracán 2

Año	Nombre	Intensidad Máxima
1987	Hilary	Huracán 2
1991	Kevin	Huracán 2
1992	Vrigil	Huracán 4
1992	Winifred	Huracán 2
1993	Calvin	Huracán 2
1993	Lidia	Huracán 2
1996	Alma	Huracán 2
1996	Douglas	Huracán 2
1997	Nora	Huracán 2
1997	Ricky	Huracán 2
1998	Blas	Huracán 2
1998	Howard	Huracán 2
1998	Lester	Huracán 2
2000	Carlota	Huracán 4

Tabla 2.4 Huracanes más intensos registrados de 1950 al 2000.

La figura 2.8 muestra las trayectorias de algunos huracanes. Se puede observar que estos huracanes pasaron alejados de la costa del Estado, lo cual no asegura que no se puedan presentar a futuro huracanes con estas mismas intensidades cerca del territorio guerrerense y no deje de ser vulnerable por la presencia de dichos eventos. Los eventos que más han afectado al litoral del estado de Guerrero han sido las tormentas tropicales y los huracanes clase 1, el daño se acentúa principalmente debido a la geografía que el Estado presenta, puesto que la zona es montañosa favorece a que los ciclones descarguen el agua que contienen provocando grandes avenidas que se traducen en deslaves e inundaciones.

En los últimos 50 años se han acercado al litoral guerrerense poco más de 180 ciclones tropicales, en la figura 2.9 se puede observar la trayectoria de algunos de estos ciclones. La mayoría de los huracanes siguen trayectorias similares a las de esta figura.

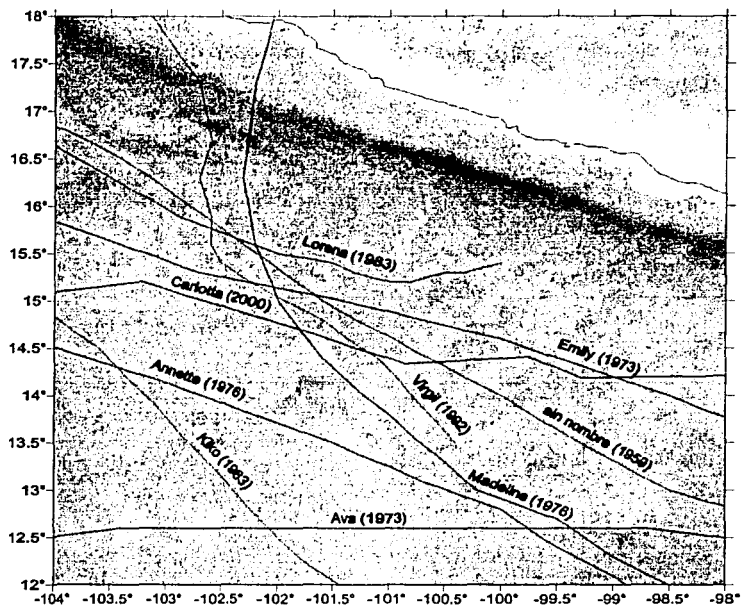


Figura 2.8 Trayectoria de los ciclones más intensos registrados en los últimos 50 años.

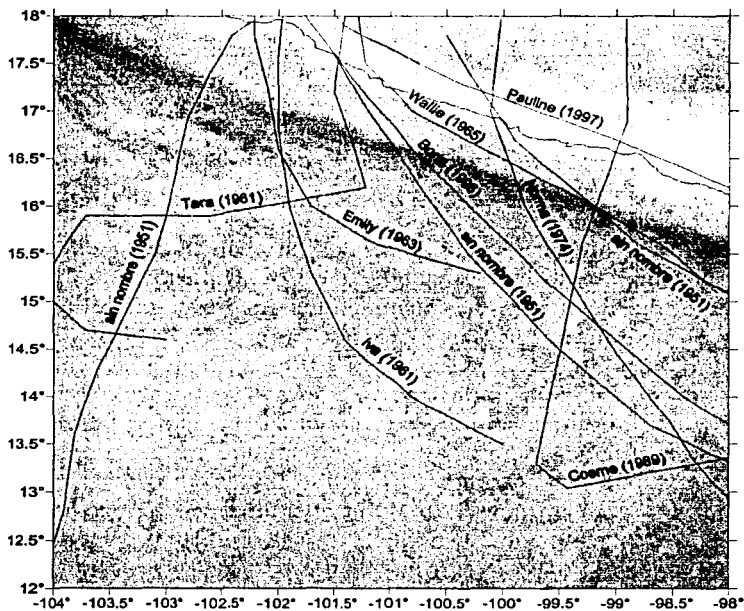


Figura 2.9 Trayectoria de los ciclones que han entrado a tierra en los últimos 50 años.

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS

3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS

3.1 Introducción

En las últimas décadas, en las regiones que se ven afectadas por la influencia de ciclones tropicales, se han invertido muchos esfuerzos por encontrar algún modelo numérico que permita determinar las condiciones costeras debidas a la presencia de huracanes, siendo los del tipo paramétrico los que más éxito han tenido. Sin embargo, son pocos los estudios que se han orientado a la caracterización de este tipo de fenómenos en las costas mexicanas y sus alrededores, en buena medida a causa de la alarmante falta de información y datos medidos en campo.

En este trabajo se describen y aplican tres modelos paramétricos para evaluar los campos de presión, viento y oleaje significativo (con su periodo asociado en aguas profundas) y dos modelos de tipo determinista para evaluar la propagación y transformación del oleaje desde aguas profundas hasta aguas someras. La aplicación de los modelos está basada en los trabajos de Díaz (2001) y Bautista (2001).

Los modelos paramétricos de presión, viento y oleaje que se reportan en la literatura dependen de la información siguiente: posición del centro del huracán, presión central, valor de presión de la última isobara cerrada y del radio ciclostrofico, conocido también como radio de máximo gradiente. Todos estos parámetros pueden ser encontrados en boletines climatológicos, con excepción del radio ciclostrofico que propiamente no se reporta en dichos boletines, por lo que para determinarlo se utilizará la ecuación propuesta por Díaz (2001).

3.2 Descripción de los modelos de presión

Los modelos paramétricos de presión ciclostrofica que se presentan a continuación se caracterizan por generar círculos concéntricos de igual valor de presión, conocidos como isobaras. La pendiente del perfil de presiones depende del radio ciclostrofico, posición geográfica y distancia desde el ojo del huracán hasta el punto de interés.

Existen dos tipos generales de modelos de perfiles de presión: el modelo modificado por Holland (1980), ecuación (3.1), y del Hydromet, ecuación (3.2), presentado originalmente por Bretschneider (1990). Las expresiones que describen dichos perfiles son:

$$\frac{P_r - P_o}{P_\infty - P_o} = A e^{-B(Rc/r)} \quad (3.1)$$

$$\frac{P_r - P_o}{P_\infty - P_o} = 1 - \left(1 + a \left(\frac{r}{Rc} \right)^2 \right)^{-b} \quad (3.2)$$

Capítulo 3. Descripción de los modelos numéricos

donde

P_o	Presión en el centro del huracán (mb)
P_r	Presión a una distancia radial r (mb)
P_∞	Presión a una distancia infinita (primera isobara cerrada) (mb)
Rc	Radio de máximos vientos ciclostroficados (km)
r	Distancia del centro de huracán a un punto dado (km)

Para que las expresiones (3.1) y (3.2) se puedan aplicar, se debe satisfacer con:

$$A = B^{-1}$$

$$a = b^{-1}$$

En la ecuación (3.1), si $A = B^{-1} = 1$ se llega al modelo correspondiente de Bret-X, mientras que si $a = b^{-1} = 2$ el modelo se transforma en el modelo Fujita.

Existe un número adimensional muy importante para determinar qué tipo de modelo representa mejor al fenómeno meteorológico, denominado número de Rankin Vortex.

$$Nc = \frac{fRc}{Vcr} = \frac{0.5822Rc(\text{sen } \phi)}{K\Delta P_o^{1/2}} \quad (3.3)$$

donde

f	Coefficiente de Coriolis
ϕ	Latitud en grados
ΔP_o	Gradiente de presiones ($P_\infty - P_o$), en mb
K	Constante que depende de la densidad del aire y varía entre 11.3 a 11.7.
Vcr	Velocidad ciclostrofica, en km/h

Se sugieren una serie de valores para los parámetros de ajuste de los modelos, los cuales se pueden validar a través de una apropiada calibración (Silva et. al., 1988).

$0.00 < N_{CR} < 0.05$	Modelo Hydromet	$A=B^{-1}=1$
$0.03 < N_{CR} < 0.08$		$A=B^{-1}=5/4$
$0.00 < N_{CR} < 0.08$		$a=b^{-1}=1/2$
$0.06 < N_{CR} < 0.15$	Modelo Bret X	$a=b^{-1}=1$

Tabla 3.1 Valores de las constantes del número de Rankin-Vortex.

Las ecuaciones que definen a los cuatro modelos de presión utilizados en este trabajo se enlistan a continuación, éstos se basan en la relación entre el radio ciclostrofico, una distancia radial medida desde el centro del huracán hasta un punto dado y del gradiente de presiones.

$$\text{Modelo Hydromet HM} \quad Pr = P_0 + (P_N - P_0)e^{-Rc/r} \quad (3.4)$$

$$\text{Modelo NOAAI} \quad Pr = P_0 + (P_N - P_0) \left(\frac{2}{\pi} \right) \tan^{-1} \left(\frac{r}{Rc} \right) \quad (3.5)$$

$$\text{Modelo Fujita J} \quad Pr = P_0 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2(r/Rc)^2}} \right) (P_N - P_0) \quad (3.6)$$

$$\text{Modelo Bret X} \quad Pr = P_0 + \left(\frac{(r/Rc)^2}{1 + (r/Rc)^2} \right) (P_N - P_0) \quad (3.7)$$

3.3 Descripción del modelo de viento

El campo de viento debido a la presencia de ciclones tropicales o huracanes muestra, en la mayor parte de los casos, una asimetría con respecto a un eje imaginario que cruza el centro del huracán. Dicha asimetría se debe a una serie de procesos como son: el movimiento del ciclón, la localización y la estructura de los cuerpos nubosos alrededor del huracán incluyendo las bandas nubosas en espiral y las influencias externas de los sistemas meteorológicos colindantes.

Los efectos asociados al desplazamiento del ciclón se pueden incluir en la modelación con el simple hecho de añadir el vector de traslación a todo el campo de viento. Esto produce un flujo de masa a través del ciclón, una salida por delante y máximos hacia el hemisferio Norte y hacia el Sur, por lo que la asimetría a través del ciclón es cercana al doble del movimiento del ciclón. Sin embargo, se sabe que la interacción de un ciclón en movimiento con la superficie en donde éste se mueve produce un cambio en la asimetría del fenómeno, siendo ésta la razón por la cual los vientos máximos no se localizan directamente en la dirección principal de movimiento del huracán.

La metodología para estimar el viento local, en cualquier punto de análisis alrededor del centro del huracán, inicia con el cálculo y obtención de la máxima velocidad del viento ciclostrófico a partir de la siguiente ecuación, la cual necesita la información sobre el gradiente de presiones obtenido con los modelos presentados en la sección anterior.

$$U_{Rr} = K \sqrt{\Delta P} \quad (3.8)$$

Obtenida la máxima velocidad del viento ciclostrófico, se procede al cálculo del máximo gradiente del viento ciclostrófico en función del radio de máximos vientos y del coeficiente de Coriolis.

$$U_{Rg} = U_{Rc} - 0.5fR_c \quad (3.9)$$

Para evaluar la velocidad del viento en cualquier punto existen dos posibles alternativas: el uso del nomograma presentado en la figura 3.1 (Bretschneider, 1990)

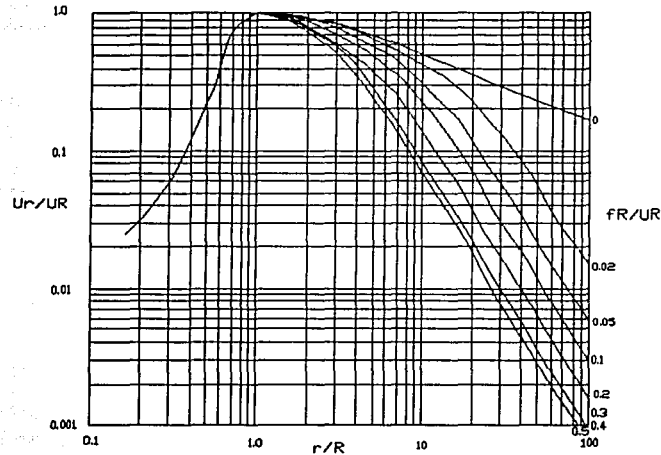


Figura 3.1 Relación de los factores para el cálculo del viento ciclónico.

Otra alternativa para calcular la velocidad es el uso de las siguientes relaciones:

$$U_p = F_v U_{Rg} \quad (3.10)$$

donde el factor de amortiguamiento se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$F_v = Y_1 + \frac{(N - B_1)(Y_2 - Y_1)}{B_2 - B_1} \quad (3.11)$$

donde N es el parámetro que relaciona el coeficiente de Coriolis con el radio ciclostrófico y el gradiente de velocidades máximas ciclostróficas, se define como:

$$N = \frac{fR_c}{U_{Rg}} \quad (3.12)$$

Los parámetros B_i y Y_i , de la ecuación (3.11), representan la forma del perfil del viento en función del radio ciclostrófico, tablas 3.2 y 3.3.

Como se mencionó anteriormente, el efecto del desplazamiento del huracán afecta de forma significativa a la asimetría del campo de viento, para incorporar este efecto es suficiente realizar la siguiente corrección:

$$W = 1.613225(U_p + 0.5V_F \cos(\beta)) \quad (3.13)$$

donde

V_F velocidad de desplazamiento del huracán, en km/h
 β ángulo total entre V_F y U_P , en grados

Es conveniente señalar que las velocidades están dadas en km/h, mientras que las distancias, R_c o r , en km.

	B_1	B_2
$N > 0.5$	0.5	0.4
$0.4 > N > 0.3$	0.4	0.3
$0.3 > N > 0.2$	0.3	0.2
$0.2 > N > 0.1$	0.2	0.1
$0.1 > N > 0.05$	0.1	0.05
$0.05 > N > 0.02$	0.05	0.02
$0.0 > N > 0.02$	0.02	0.0

Tabla 3.2 Valores de las constantes B_1 y B_2 .

B_i ($i=1$ o 2)	$S=r/R_c$	Y_i ($i=1$ o 2)
0.5	$S < 10$	$1.406 - 0.467S + 0.0679S^2 - 0.00489S^3 + 0.00016S^4 - 1.891 \times 10^{-6}S^5$
	$S \geq 10$	$e^{-1.902 \ln(S)+1.703}$
0.4	$S < 9$	$1.440 - 0.551S + 0.128S^2 - 0.0179S^3 + .00042S^4 + .00025S^5 - .000031S^6 + .0000011S^7$
	$S \geq 9$	$e^{-1.92 \ln(S)+1.915}$
0.3	$S < 10$	$1.303 - 0.327S + 0.0319S^2 - 0.0011S^3$
	$S \geq 10$	$e^{-1.949 \ln(S)+2.265}$
0.2	$S < 10$	$1.24 - 0.253S + 0.016S^2 + 0.00032S^3 - 0.000049S^4$
	$S \geq 10$	$e^{-1.952 \ln(S)+2.568}$
0.1	$S > 8$	$0.479 + 1.267S - 1.074S^2 + 0.4S^3 - 0.081S^4 + 0.0093S^5 - 0.00056S^6 + 0.000014S^7$
	$8 \leq S < 12$	$0.980 - 0.125S + 0.005S^2$
	$S \geq 12$	$e^{-1.912 \ln(S)+3.030}$
0.05	$S < 10$	$1.14957 - 0.1427S + 0.00604S^2$
	$10 \leq S < 40$	$0.64 - 0.04S + 6.9 \times 10^{-4}S^2 + 9.5 \times 10^{-6}S^3 - 5.4 \times 10^{-7}S^4 + 8.3 \times 10^{-9}S^5 - 5.7 \times 10^{-11}S^6 + 1.5 \times 10^{-13}S^7$
	$S \geq 40$	$e^{-1.806 \ln(S)+3.239}$
0.2	$S < 10$	$1.108 - 0.119S + 0.0052S^2$
	$10 \leq S < 60$	$0.783 - 0.0464S + 0.0013S^2 - 1.819 \times 10^{-5}S^3 + 1.341 \times 10^{-7}S^4 - 3.949 \times 10^{-10}S^5$
	$S \geq 60$	$e^{-1.534 \ln(S)+2.990}$
0	$S < 10$	$1.086 - 0.1007S + 0.00428S^2$
	$S \geq 10$	$e^{-0.470 \ln(S)+0.405}$

Tabla 3.3 Valores de las constantes Y_1 y Y_2 para el modelo de viento.

3.4 Descripción del modelo de oleaje

La superficie del mar se ve afectada por diversos factores naturales y meteorológicos como las mareas, los vientos, los cambios en la presión atmosférica, la temperatura y la salinidad, así como los movimientos tectónicos, los cuales generan grandes oscilaciones en el cuerpo acuoso. La superficie del Océano puede cambiar dramáticamente al verse expuesta a condiciones meteorológicas extremas como es el caso de un huracán. Los huracanes producen vientos extraordinarios alrededor de su centro con formas asimétricas y esfuerzos cortantes que levantan literalmente al océano en la zona de influencia, generando ondas de gran amplitud y periodo que se mueven rápidamente hacia las zonas costeras ganando altura y fuerza conforme el fondo va disminuyendo, finalmente, al tocar tierra inundan grandes extensiones de terreno costero.

Aunque existen muchos de factores y parámetros físicos que influyen en la formación del oleaje extraordinario debido a la presencia de algún huracán, el motor más importante, particularmente en aguas profundas, es el viento. Sánchez et al (1998) comprobaron que la relación de la ecuación (3.14) es la más adecuada para estimar la altura de ola significativa bajo la influencia de un huracán estacionario.

$$H_{RSTA} = K' \left(\frac{K}{K1} \right) \sqrt{Rc(\Delta P)} + 0.3048 \quad (3.14)$$

donde K' se conoce como el factor del oleaje definido por:

$$K' = 7.47984 - 43.7101Nc + 240.9152 \quad \text{para } Nc < 0.1 \quad (3.15)$$

$$K' = -1.36313Ln(Nc) + 1.89406 \quad \text{para } Nc > 0.1 \quad (3.16)$$

Con el valor de la altura significativa para un huracán estacionario se obtienen la altura de ola y la velocidad del viento puntuales descritos en las ecuaciones (3.17) y (3.18), respectivamente.

$$Hp = H_{RSTA} (factH) \quad (3.17)$$

$$Up = U_{Rg} (factV) \quad (3.18)$$

donde U_{Rg} es el máximo gradiente de viento ciclostrófico, obtenido a partir de la ecuación (3.9), y los factores de agrupamiento horizontales y verticales $factH$ y $factV$, que dependen de los parámetros $A1$, $A2$, $B1$ y $B2$, se definen como sigue:

$$factH = Y1 + (N - A1) \frac{(Y2 - Y1)}{A2 - A1} \quad (3.19)$$

$$factV = Y1 + (N - B1) \frac{(Y2 - Y1)}{B2 - B1} \quad (3.20)$$

Haciendo notar que el factor N es el mismo que en la ecuación (3.11) y el $factH$ y $factV$ se pueden obtener con las ecuaciones (3.19) y (3.20), respectivamente o bien con los nomogramas mostrados en las figuras 3.2 y 3.1, respectivamente.

La tabla 3.4 muestra los valores de las constantes A_1 y A_2 relacionadas con el parámetro N , mientras que en la tabla 3.5 se presenta el criterio para seleccionar los parámetros Y_i de la ecuación (3.20).

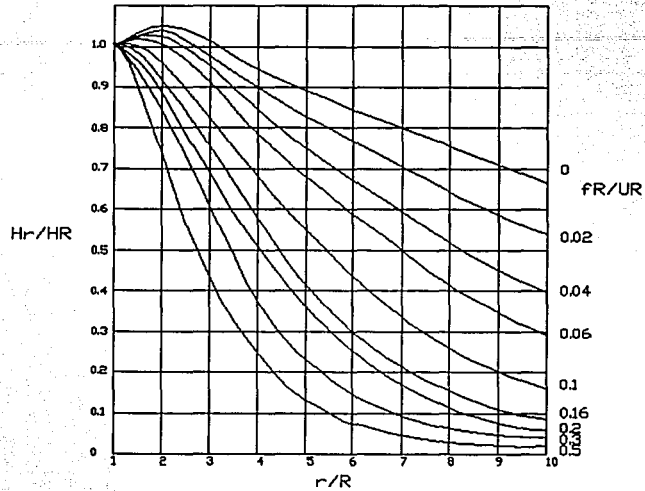


Figura 3.2 Relación de los factores para el cálculo del oleaje.

	A_1	A_2
$N > 0.02$	0.0	0.02
$0.04 > N > 0.02$	0.02	0.04
$0.06 > N > 0.04$	0.04	0.06
$0.10 > N > 0.06$	0.06	0.1
$0.16 > N > 0.10$	0.10	0.16
$0.20 > N > 0.16$	0.16	0.20
$0.30 > N > 0.20$	0.20	0.30
$N > 0.30$	0.3	0.5

Tabla 3.4 Valores de las constantes A_1 y A_2 .

A_i ($I=1$ o 2)	$S=r/Rc$	Y_i ($i=1$ o 2)
0	$S < 4$	$0.752 + 0.369S - 0.140S^2 + 0.0148S^3$
	$4 < S < 10$	$0.438 + 0.580S - 0.217S^2 + 0.0356S^3 - 0.00281S^4 + 0.000085S^5$
	$S > 10$	$0.66e^{(10-S)/20}$
0.02	$S < 4$	$0.781 + 0.338S - 0.134S^2 + 0.0141S^3$
	$4 < S < 10$	$0.389 + 0.607S - 0.228S^2 + 0.037S^3 - 0.0029S^4 + 0.00009S^5$
	$S > 10$	$0.53e^{(10-S)/10}$
0.04	$S < 4$	$0.857 + 0.231S - 0.0957S^2 + 0.0092S^3$
	$4 < S < 10$	$3.653 + 1.909S - 0.521S^2 + 0.072S^3 - 0.0049S^4 + 0.00013S^5$
	$S > 10$	$0.39e^{(10-S)/10}$
0.06	$S < 4$	$0.840 + 0.266S - 0.118S^2 + 0.011S^3$
	$4 < S < 10$	$-0.856 + 1.582S - 0.539S^2 + 0.083S^3 - 0.00632S^4 + 0.00018S^5$
	$S > 10$	$0.335e^{(9-S)/5}$
0.1	$S < 1$	1.0
	$1 < S < 4$	$0.914 + 0.183S - 0.107S^2 + 0.0115S^3$
	$4 < S < 10$	$3.472 - 1.828S + 0.495S^2 - 0.071S^3 + 0.0052S^4 - 0.00014S^5$
	$S > 10$	$0.15e^{(10-S)/5}$
0.16	$S < 1$	1.0
	$1 < S < 4$	$1.0102 + 0.0508S - 0.0644S^2 + 0.0059S^3$
	$4 < S < 10$	$3.465 - 1.722S + 0.409S^2 - 0.0521S^3 + 0.0033S^4 - 0.000085S^5$
	$S > 10$	$0.08e^{(10-S)/7}$
0.2	$S < 1$	0.93
	$1 < S < 4$	$0.938 + 0.189S - 0.146S^2 + 0.017S^3$
	$4 < S < 10$	$1.735 - 0.564S + 0.104S^2 - 0.0145S^3 + 0.00102S^4 - 0.0000415S^5$
	$S > 10$	$0.077e^{(9-S)/5}$
0.3	$S < 1$	0.97
	$1 < S < 4$	$1.053 + 0.0342S - 0.0991S^2 + 0.017S^3$
	$4 < S < 10$	$4.581 - 2.78S + 0.693S^2 - 0.0901S^3 + 0.0058S^4 - 0.00015S^5$
	$10 < S < 15$	0.02
0.5	$S < 1$	0.6
	$1 < S < 5$	$0.484 + 1.475S - 1.34S^2 + 0.453S^3 + 0.0692S^4 - 0.00402S^5$
	$5 < S < 10$	$3.881 - 2.35S + 0.594S^2 - 0.0762S^3 + 0.0048S^4 - 0.000124S^5$
	$10 < S < 15$	0.01

Tabla 3.5 Valores de las constantes Y_1 y Y_2 para el modelo de oleaje.

Finalmente Sánchez et al. (1998) verificaron, con datos de campo, que la corrección propuesta por Bretschneider (1990) es válida para caracterizar la influencia de un huracán en desplazamiento:

$$HH = H_p \left(\frac{1 + 0.5V_F}{U_p \cos(\beta)} \right)^2 \quad (3.21)$$

donde

- HH* Configuración de la altura del oleaje en todo el dominio en movimiento, en metros.
V_F Velocidad de desplazamiento del huracán, en km/h
β Ángulo total entre *V_F* y *U_p*, en grados.

Las variables necesarias para una predicción del oleaje en aguas profundas, que los cuatro modelos de presiones descritos requieren, son las siguientes:

- K₀* Constante interna del modelo (válido para todos los métodos).
C₂ Constante interna del modelo (varía de acuerdo al modelo)
K₁ Constante teórica que depende del modelo y de las unidades utilizadas para valores de presiones y velocidades, varía desde *K₁* = 66 hasta *K₁* = 68 para velocidades en nudos y presiones en pulgadas de Hg y de *K₁*=11.34 a *K₁* = 11.68 con la velocidad en nudos y presión en milibares. La variación se debe al cambio en la densidad del viento.
C₁ Constante teórica que depende del modelo utilizado
V_{cr} Velocidad máximo del viento ciclostrófico, en km/h
dp/dr Gradientes de presiones, en mb
ρ_a Densidad del aire

La tabla 3.6 muestra la relación entre los coeficientes *C₁* y *C₂* para cada modelo.

Modelo	C1	C2
Hydromet HM	1/e	---
NOAA I	1/π	0.5
Fujita J	2/3√3	0.4226
Bret X	2	0.5

Tabla 3.6 Constantes teóricas *C₁* y *C₂*.

3.5 Aplicación de los modelos de presión, viento y oleaje en la costa de Guerrero

Para la generación de los mapas de presiones mínimas, velocidades de viento máximas y oleaje máximo, asociados a cada uno de los 254 huracanes que han afectado la zona de estudio, se utilizó el modelo Hydromet. Posteriormente, con la información generada se elaboraron los mapas de altura de ola máxima, viento ciclostrófico máximo y presiones mínimas históricas.

Se utilizó el modelo Hydromet ya que es el que mejor ajusta los datos medidos por boyas oceanográficas y de satélite, Diaz (2001)

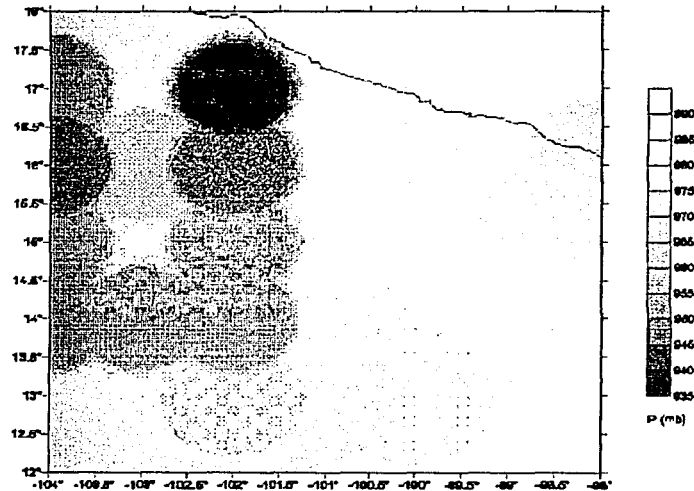


Figura 3.3 Mínimas presiones históricas.

En la figura 3.3 se presenta el mapa de presiones mínimas históricas correspondiente a los huracanes más intensos que han afectado la costa del estado de Guerrero. En esta figura se puede observar que las mínimas presiones se encuentran al Oeste de la zona de interés, principalmente en el Noroeste, muy cercanas a la costa del Estado.

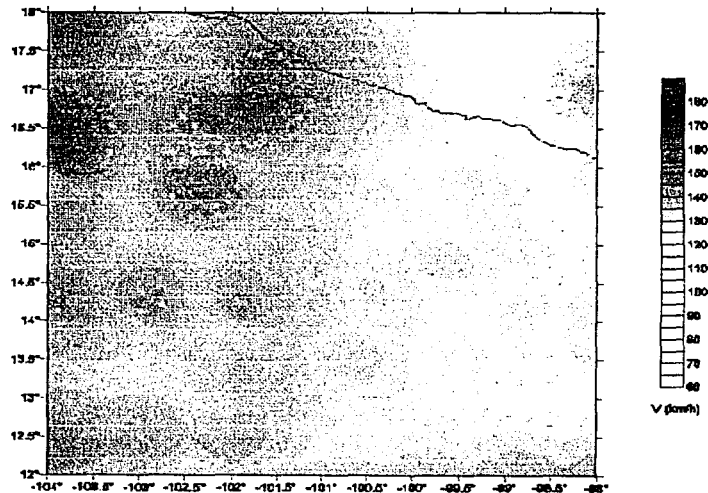


Figura 3.4 Máximas velocidades de viento históricas.

En la figura 3.4 se muestra el mapa correspondiente al estudio histórico de vientos máximos presentados en la costa de Guerrero. Se observa claramente que los máximos vientos se localizan en la parte Oeste de la zona de estudio, principalmente al Noroeste, lo

que concuerda con el área de mínimas presiones, por lo cual esta área debe de considerarse de vulnerabilidad alta por presencia de vientos.

La figura 3.5 muestra el mapa de máximas alturas de ola que se han presentado, y en la figura 3.6 los periodos asociados a esas alturas de ola. Se puede observar en estas figuras que las olas más altas se han presentado al Noroeste de la zona de interés y al Sureste de la misma.

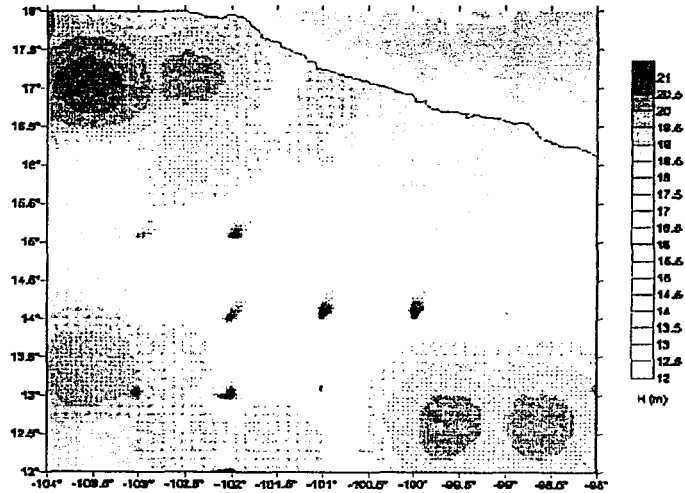


Figura 3.5 Máximas alturas de ola históricas.

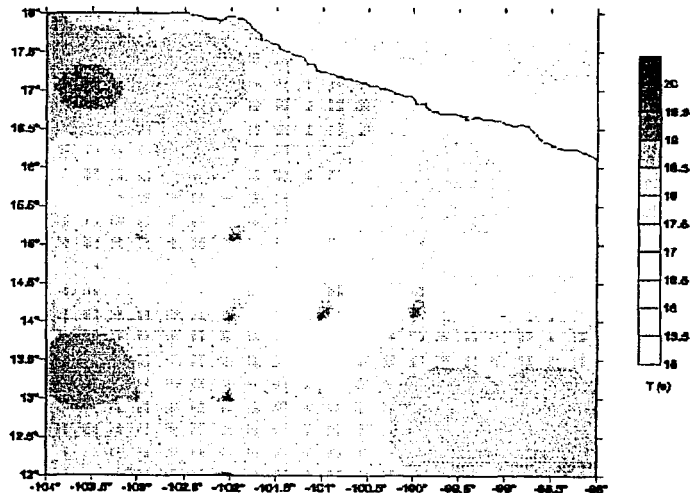


Figura 3.6 Periodos asociados a las máximas alturas de ola históricas.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR PRESENCIA DE HURACANES EN GUERRERO

4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR PRESENCIA DE HURACANES EN GUERRERO

4.1 Introducción

4.1.1 *Concepto de riesgo y vulnerabilidad*

Aparentemente en los años recientes los desastres naturales han sido cada vez más intensos y frecuentes. Este fenómeno es comprensible si se considera que la ocurrencia de un desastre está relacionada tanto con la naturaleza como con la actividad humana.

En este trabajo, el concepto de riesgo se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento de alta intensidad y la vulnerabilidad es definida como la sensibilidad de la sociedad, sus bienes, formas de producción u organización ante estos peligros.

Una sociedad muy vulnerable no necesita fenómenos naturales muy extremos para sufrir daños. Por el contrario, una sociedad invulnerable a cierto peligro natural no sufriría ningún daño al presentarse éste.

Los incrementos masivos y abruptos en desastres que se han venido presentando tienen su explicación en el concepto de vulnerabilidad. Es la vulnerabilidad de la sociedad actual la que está aumentando a pasos acelerados. En el contexto de ciclones tropicales la simple urbanización desordenada e irrespetuosa de leyes naturales simples está creciendo dramáticamente el riesgo al que sectores importantes de la sociedad mexicana se ven expuestos.

4.1.2 *Crecimiento urbano y riesgo*

Los cruces de calles, caminos y carreteras sobre los cauces naturales representan también un gran problema. Para ahorrar dinero se construyen pequeños puentes o alcantarillas diseñados para periodos de retorno de 5 a 10 años, en lugar de usar un razonable periodo de retorno de unos 50 años. Por lo mismo, se reduce la longitud de los puentes bloqueando con un terraplén una parte del cauce natural y se construyen puentes sólo sobre el cauce principal ignorando absolutamente la llanura de inundación. A corto plazo parece un buen ahorro de dinero, pero cuando llega el evento extremo dichas obras se convierten en cuellos de botella, se taponan con árboles, rocas y sedimentos, facilitan el desbordamiento de los caudales en exceso sobre las calles, inundan por arremansamiento sitios aguas arriba de los puentes y ponen en peligro al camino mismo con el riesgo de un rompimiento e inundación repentina aguas abajo. El caso de Santa Cecilia en el anfiteatro de Acapulco durante el huracán Paulina en 1997 es un ejemplo palpable de numerosos de estos errores sobrepuestos uno sobre el otro.

Las leyes naturales del flujo indican que conforme una zona urbana se expande, la capacidad de conducción de sus cauces tiene que aumentar. Exactamente lo contrario ocurre en el 100% de las ciudades mexicanas. Conforme la presión económico-social del crecimiento urbano aumenta, los cauces naturales se van estrangulando, su capacidad de

conducción disminuyendo y, en casos extremos hasta se rellenan cauces naturales para construir calles sobre ellos.

Algo similar ocurre con los efectos marítimos: se invaden las playas con construcciones lo más cerca posible del mar, se urbanizan ambas aceras de las calles costeras, se construye directamente sobre las islas de barrera, se secan los humedales para construir nuevos fraccionamientos, etc.

Obviamente, corregir todos los errores cometidos en las zonas ya urbanizadas sería sumamente costoso. Así pues, en estas zonas se limita a *administrar el riesgo*. Pero en numerosas zonas que se están urbanizando ahora o que están por urbanizarse, la oportunidad de hacerlo con menor riesgo a la población es enorme. Cuando menos, ahora ya se puede dar significado concreto y específico a este concepto de vulnerabilidad en el caso de ciclones tropicales.

4.2 Análisis estadístico de ocurrencia de eventos históricos

Como se mencionó en el Capítulo 2, se desarrolló una base de datos con los huracanes que han afectado a las costas del estado de Guerrero en los últimos 50 años, en total se tienen 254 eventos. Para cada uno de estos eventos, se cuenta con la posición geográfica de cada aviso, la intensidad (escala Saffir-Simpson), la presión central, la velocidad de desplazamiento y la fecha y hora de ocurrencia.

Para simplificar el análisis, se dividió la zona de interés en las dos secciones que se muestran en la figura 4.1, siendo éstas: sección Oeste (de -104° a -101° longitud y de 12° a 18° latitud) y sección Este (de -101° a -98° longitud y de 12° a 18° latitud).

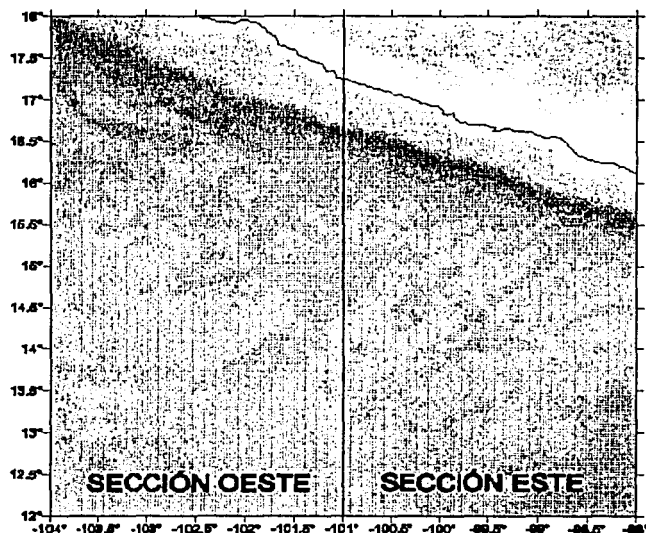


Figura 4.1 División de la zona de interés para el estudio de vulnerabilidad.

Para cada una de las áreas de estudio, se identificaron los huracanes que han afectado y se les clasificó de acuerdo a su intensidad con la escala Saffir-Simpson. Una vez clasificados, se procedió a generar los histogramas de ocurrencia de huracanes de cierto umbral. Como ejemplo de este proceso, se obtuvieron las tablas 4.1 y 4.2 y las figuras 4.2 y 4.3 para la sección Oeste y Este, respectivamente.

En la tabla 4.1 se observa que para la sección Oeste se reportaron 865 avisos, cada uno es representativo de 6 horas. Es notoria la ocurrencia moderada de huracanes intensos; menos del 8% de los avisos están asociados a huracanes clase 2 o superior, en contraste, un gran número de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes clase 1. Lo anterior no implica que esta zona no sea vulnerable, ya que en muchas ocasiones los daños más importantes están asociados a ciclones de baja intensidad.

Sección Oeste

Clase	Descripción	No.	%
1	Depresión Tropical	219	25.32
2	Tormenta tropical	408	47.17
3	Huracán Clase 1	174	20.12
4	Huracán Clase 2	45	5.20
5	Huracán Clase 3	13	1.50
6	Huracán Clase 4	6	0.69
7	Huracán Clase 5	0	0.00
Total		865	100

Tabla 4.1 Número y probabilidad de los avisos para la sección Oeste.

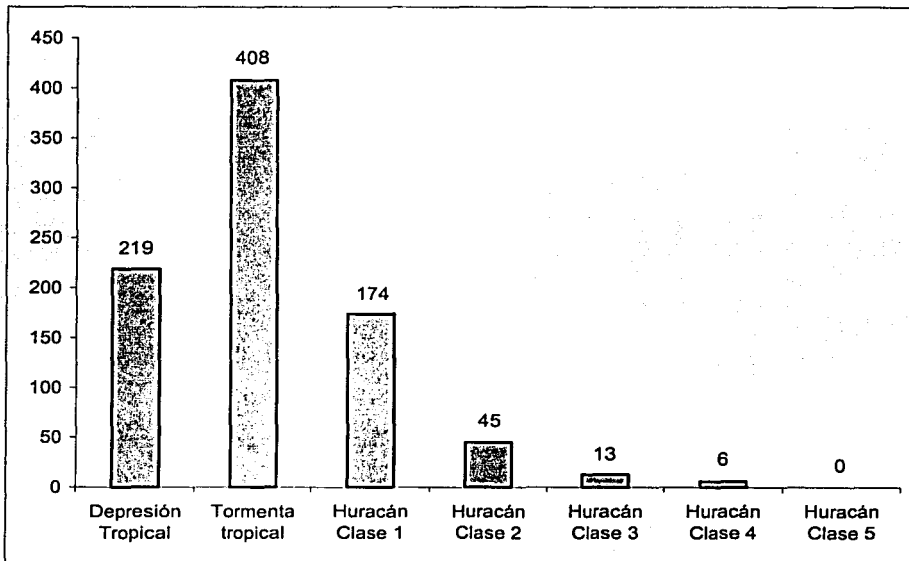


Figura 4.2 Ocurrencia de huracanes sobre la sección Oeste.

En la sección Este se reportaron 515 avisos, como se observa en la tabla 4.2, y al igual que en la sección Oeste, la ocurrencia de los huracanes clase 2 y mayores es muy escasa, propiamente nula, y es predominante la presencia de depresiones tropicales y tormentas tropicales.

Sección Este			
Clase	Descripción	No.	%
1	Depresión Tropical	195	37.86
2	Tormenta tropical	194	37.67
3	Huracán Clase 1	111	21.55
4	Huracán Clase 2	15	2.91
5	Huracán Clase 3	0	0.00
6	Huracán Clase 4	0	0.00
7	Huracán Clase 5	0	0.00
Total		515	100

Tabla 4.2 Número y probabilidad de los avisos para la sección Este.

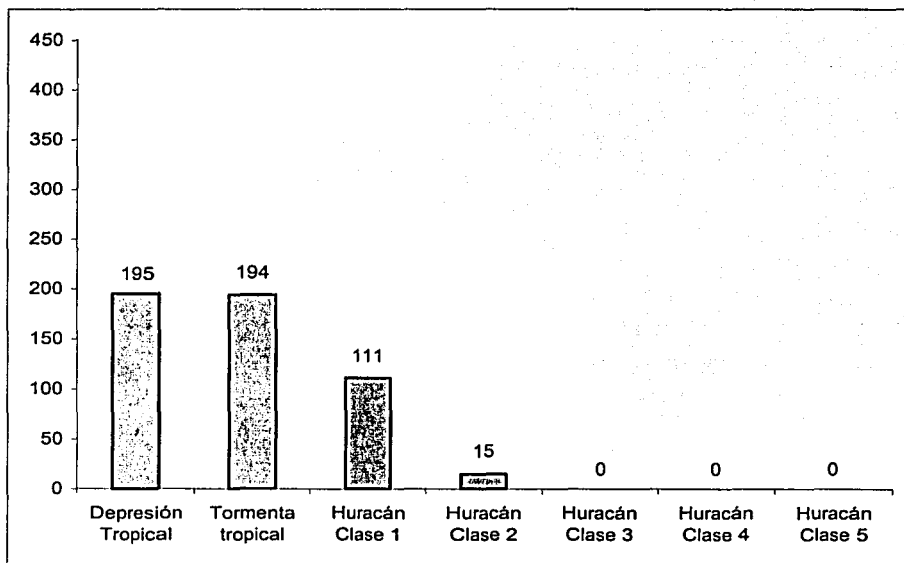


Figura 4.3 Ocurrencia de huracanes sobre la sección Este.

4.3 Análisis geográfico para la determinación de zonas de vulnerabilidad

En este apartado se describe la forma en como se determinó las zonas geográficas de riesgo a partir de un análisis histórico. Utilizando la misma metodología del apartado anterior, se realizó un análisis espacial para zonas de concentración de intensidades.

Primero, se asoció la ubicación geográfica e intensidad de cada aviso en cada una de las regiones de estudio, figuras 4.4 y 4.6, posteriormente, con esta información se generaron áreas de influencia para cada intensidad y se construyeron mapas de zonas con igual intensidad, figuras 4.5 y 4.7.

En la figura 4.4 se presenta la distribución de avisos, mientras que en la figura 4.5 se muestran las zonas de igual intensidad analizadas, ambos caso para la sección Oeste. En esta zona se observa: una alta concentración de eventos con intensidades de depresión tropical, tormenta tropical y huracán clase 1; una concentración moderada de avisos de intensidad de huracán clase 2 y una concentración baja de huracanes clase 3 y 4. Muy cerca de la costa predominan los avisos con intensidades huracán clase 1 y en tierra sólo se han presentado depresiones y tormentas tropicales.

Las figuras 4.6 y 4.7 muestran la distribución de avisos y las zonas de igual intensidad, respectivamente, para la sección Este. Las intensidades predominantes son depresión y tormenta tropical. Cerca de la costa se tienen pocos avisos, pero su intensidad llega hasta clase 2.

La sección Oeste se considera más peligrosa dado el número de avisos y la intensidad de los ciclones, sin embargo, la sección Este es también peligrosa debido a la presencia de huracanes clase 2 cerca de la costa.

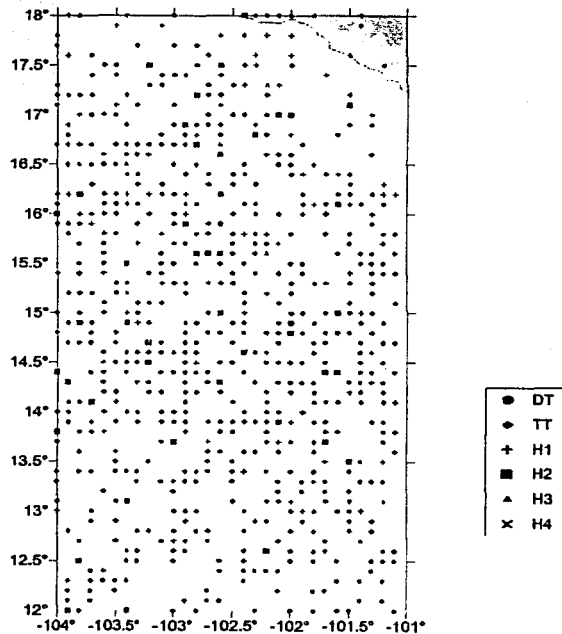


Figura 4.4 Concentración de eventos por intensidad en la sección Oeste.

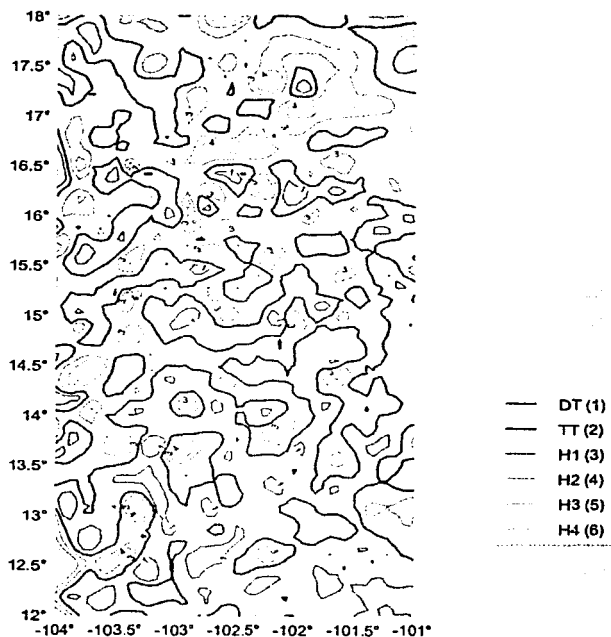


Figura 4.5 Curvas de igual intensidad generadas para la sección Oeste.

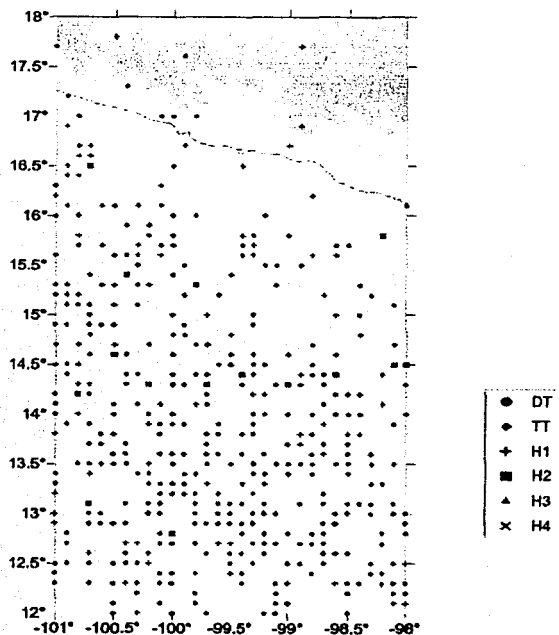


Figura 4.6 Concentración de eventos por intensidad en la sección Este.

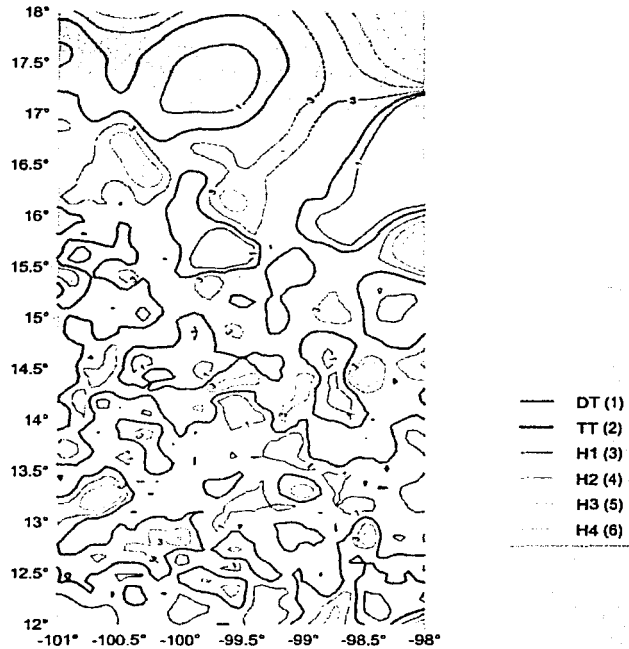


Figura 4.7 Curvas de igual intensidad generadas para la sección Este.

4.4 Resultados

Con el fin de tener mejores elementos para evaluar el riesgo, a continuación se presentan los resultados obtenidos de cruzar la probabilidad de presentación de ciclones con información geográfica como: número de habitantes, número y tipo de viviendas, características fisiográficas del suelo, etc.

La figura 4.8 muestra el cruce de información de las zonas de igual intensidad con un mapa de municipios y localidades del estado de Guerrero. Los tres rangos que se representan, con colores verde, azul, y rojo, corresponden a zonas de intensidad hasta tormenta tropical, hasta huracán clase 2 y hasta huracán clase 4, respectivamente. Cada punto dentro del Estado representa una localidad.

Este análisis se utiliza para determinar el tipo el riesgo para cada municipio y localidad del Estado. Esta metodología se puede utilizar igualmente para prevención y alerta en caso de acercamiento y/o presencia de un huracán.

Debido a la definición que se le dio al concepto de riesgo y dado que en la zona de estudio no se han presentado huracanes clase 5, se tomó el siguiente criterio: zona de riesgo *alto* huracanes clase 4, zona de riesgo *medio* huracanes clase 2 y clase 3 y zona de riesgo *bajo* huracanes clase 1 y tormenta tropical.

En la figura 4.8 se observa que la zona de alto riesgo cubre desde la costa hasta la zona central del Estado y disminuye hacia tierra adentro. Esta zona de alto riesgo abarca un poco más del 18 por ciento del área total del Estado. Las zonas de medio y bajo riesgo comprenden un 26 y 42 por ciento, respectivamente.

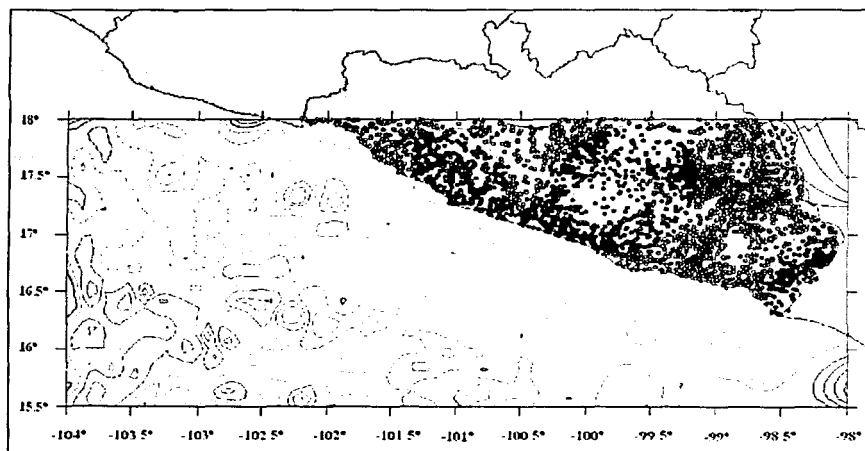


Figura 4.8 Cruce del mapa de zonas de igual intensidad con el de localidades y municipios.

En la figura 4.9 se observa el mapa de los municipios del Estado enlazado con el mapa de curvas de igual intensidad. En la tabla 4.3 se muestran los porcentajes de área que cada municipio, que se encuentra dentro de la zona de estudio, tiene en cada zona de riesgo (alta, media y baja).

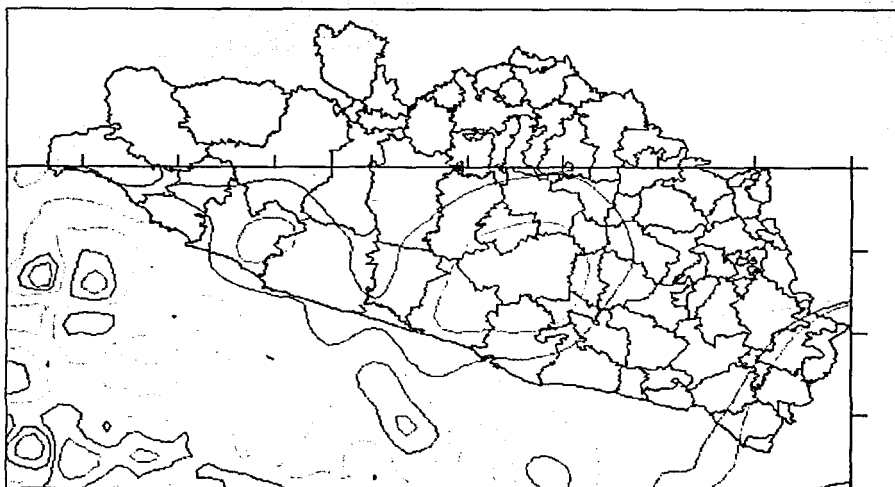


Figura 4.9 Mapa de los municipios del estado de Guerrero junto con el mapa de curvas de igual intensidad.

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Municipio	Porcentaje de área en la zona de riesgo:			Porcentaje fuera de la zona de estudio
	alto	medio	bajo	
Acapulco de Juárez	36.75	41.64	21.61	-
Acatepec	-	-	100	-
Ahuacuotzingo	-	-	100	-
Ajuchitlán del Progreso	-	9.65	56.22	34.13
Alcozauca de Guerrero	-	-	100	-
Alpoyeca	-	-	100	-
Apaxtla	-	-	13.35	86.65
Atlamajalcingo del Monte	-	-	100	-
Atlixac	-	-	100	-
Atoyac de Álvarez	-	69.45	30.55	-
Ayutla de los Libres	-	-	100	-
Azoyu	0.82	25.03	74.15	-
Benito Juárez	-	100	-	-
Coahuayutla de José María Izazaga	-	-	100	-
Cocula	-	-	12.01	87.99
Copala	-	-	100	-
Copalillo	-	-	61.22	38.78
Copanatoyac	-	-	100	-
Coyuca de Benítez	57.83	42.17	-	-
Coyuca de Catalán	-	18.58	16.49	35.07
Cuajinicuilapa	63.85	30.58	5.57	-
Cualac	-	-	100	-
Cuautepec	-	-	100	-
Cuetzala del Progreso	-	-	16.72	83.28
Chilapa de Álvarez	-	33.55	66.45	-
Chilpancingo de los Bravos	100	-	-	-
Eduardo Neri	8.7	83.8	7.5	-
Florencio Villarreal	-	-	100	-
General Heliodoro Castillo	6	66.95	27.05	-
Huamuxtitlán	-	-	100	-
Huitzuc de los Figueroa	-	-	10.48	89.52
Iguala de la Independencia	-	-	2.26	97.74
Igualapa	-	52.8	47.2	-
José Azueta	-	24.26	68.83	6.91
Juan R. Escudero	34.81	65.19	-	-
La Unión	-	21.03	9.43	69.54
Leonardo Bravo	52.95	47.05	-	-
Malinaltepec	-	-	100	-
Martir de Cuilapan	-	74.58	25.42	-
Metlatonoc	-	5.62	94.38	-
Mochitlán	42.86	57.14	-	-
Olinala	-	-	88.46	11.54
Ometepec	96.12	3.88	-	-
Petatlán	32.58	59.67	7.74	-
Quechultenango	-	48.03	51.97	-

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Municipio	Porcentaje de área en la zona de riesgo:			Porcentaje fuera de la zona de estudio
	alto	medio	bajo	
San Luis Acatlán	-	-	100	-
San Marcos	-	17.76	82.24	-
San Miguel Totolapan	-	9.01	68.6	22.39
Tecoanapa	-	4.78	95.22	-
Tecpan de Galeana	2.71	79.54	17.75	-
Tepecoacuilco de Trujano	-	3.07	13.81	83.12
Tixtla de Guerrero	9.45	90.55	-	-
Tlacoachistlahuaca	59.5	30.5	10	-
Tlacoapa	-	-	100	-
Tlalixtaquilla de Maldonado	-	-	100	-
Tlapa de Comonfort	-	-	100	-
Xalpatlahuac	-	-	100	-
Xochihuehuetlán	-	-	100	-
Xochistlahuaca	100	-	-	-
Zapotitlán Tablas	-	-	100	-
Zitlala	-	27.91	72.09	-

Tabla 4.3 Porcentaje del área de los municipios en cada zona riesgo.

De la figura y tabla anteriores se observa que existen municipios que se encuentran totalmente dentro de la zona de alto riesgo, como son los casos de Chilpancingo de los Bravos y Xochistlahuaca. Cabe mencionar que los 14 municipios que se encuentra en la costa están en área de vulnerabilidad alta debido al oleaje y viento que se presenta.

Se realizó un análisis de vulnerabilidad para cada municipio afectado. Se tomaron las localidades con los datos de población y número de viviendas registradas para cada zona de riesgo con el fin de encontrar las poblaciones e infraestructura en posible afectación.

En la tabla 4.4 se muestran los municipios, número de habitantes y viviendas que se localizan dentro de la zona de riesgo alto. En las figuras 4.10 y 4.11 se observan los resultados gráficos de esta misma zona de riesgo. La zona con presencia de eventos con intensidad hasta de huracán clase 4 está conformada por una población total de 393 000 habitantes y una infraestructura de 77 500 viviendas registradas.

De los resultados obtenidos se observa que el municipio con mayor población en esta zona es Chilpancingo de los Bravos, con un número total de 169 000 habitantes y casi 35 000 viviendas; esto provoca que este municipio sea el más vulnerable en esta zona de riesgo debido a la cantidad de habitantes y viviendas que en él se encuentran.

Municipio	Número de habitantes	Número de Viviendas
Acapulco de Juárez	28 276	5 723
Azoymucos	16	3
Coyuca de Benítez	36 069	7 218
Cuajinicuilapa	21 014	4 037
Chilapa de Álvarez	27	6
Chilpancingo de los Bravos	169 555	34 627
Eduardo Neri	18 988	3 514
General Heliodoro Castillo	682	117
Juan R. Escudero	16 663	3 248
Leonardo Bravo	14 375	2 594
Mártires de Tacubaya	1 381	283
Mesones Hidalgo	39	8
Mochitlán	1 464	288
Ometepec	43 543	8 177
Petatlán	5 469	933
San Juan Cacahuatepec	6 178	1 225
Santiago Tepextla	2 109	353
Tecpan de Galeana	791	141
Tixtla de Guerrero	106	18
Tlacoachistlahuaca	7 624	1 477
Xochistlahuaca	18 395	3 514

Tabla 4.4 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro de la zona de riesgo alto.

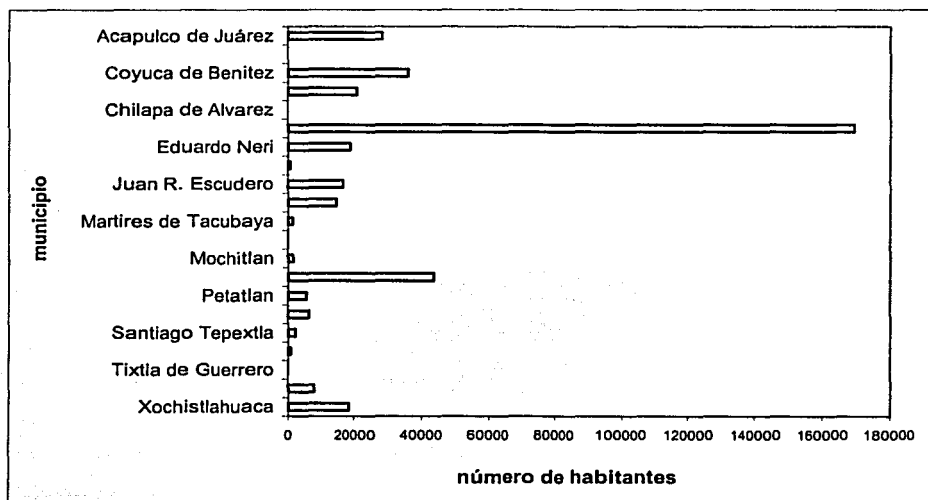


Figura 4.10 Población en la zona de riesgo alto.

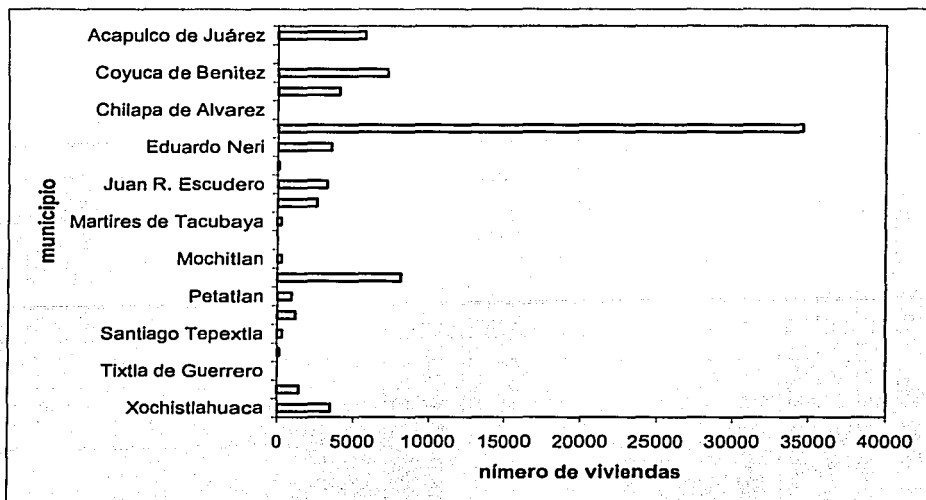


Figura 4.11 Número de viviendas en la zona de riesgo alto.

En la tabla 4.5 se presentan los municipios, el número de habitantes y viviendas que se encuentran en el área donde se han presentado eventos con intensidad hasta de huracán clase 2 (zona de riesgo medio).

Municipio	Número de habitantes	Número de viviendas
Acapulco de Juárez	638 116	143 976
Ajuachitlán del progreso	578	91
Atoyac de Álvarez	58 890	12 277
Ayutla de los libres	404	82
Azoyu	5 777	1 100
Benito Juárez	16 245	3 884
Coyuca de Benítez	32 565	7 127
Coyuca de Catalán	1 393	236
Cuajinicuilapan	3 253	613
Chilapa de Álvarez	58 089	11 230
Eduardo Neri	16 477	2 797
General Heliodoro Castillo	26 459	4 377
Igualapa	6 840	1 230
José Azueta	2 258	401
Juan R. Escudero	6 388	1 230
Leonardo Bravo	7 870	1 314
Martir de Cuilapan	11 436	2 224
Metlatonoc	976	158
Mochitlán	8 497	1 821

Municipio	Número de habitantes	Número de Viviendas
Petatlán	34 030	7 235
Quechultenango	20 912	3 873
San Luis Acatlán	109	14
San Marcos	8 662	1 652
San Miguel Totolapan	2 270	333
Tecoanapa	6 321	1 116
Tecpan de Galeana	58 283	13 180
Tepecoacuilco de Trujano	1 729	369
Tixtla de Guerrero	33 487	6 461
Tlacoachistlahuaca	2 639	440
Unión de Isidro Montes de Oca	7 328	1 479
Zitlala	9 367	1 699

Tabla 4.5 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro del área de riesgo medio.

En las figuras 4.12 y 4.13 se muestran los resultados gráficos de la zona de riesgo medio. Se observa que el municipio de Acapulco de Juárez tiene la mayor población dentro de esta zona de riesgo, casi 640 000 habitantes, y alrededor de 140 000 viviendas. Por lo anterior y por ser el centro turístico más importante del país, Acapulco de Juárez es el municipio que requiere la mayor atención ante prevención de desastres provocados por este tipo de fenómenos.

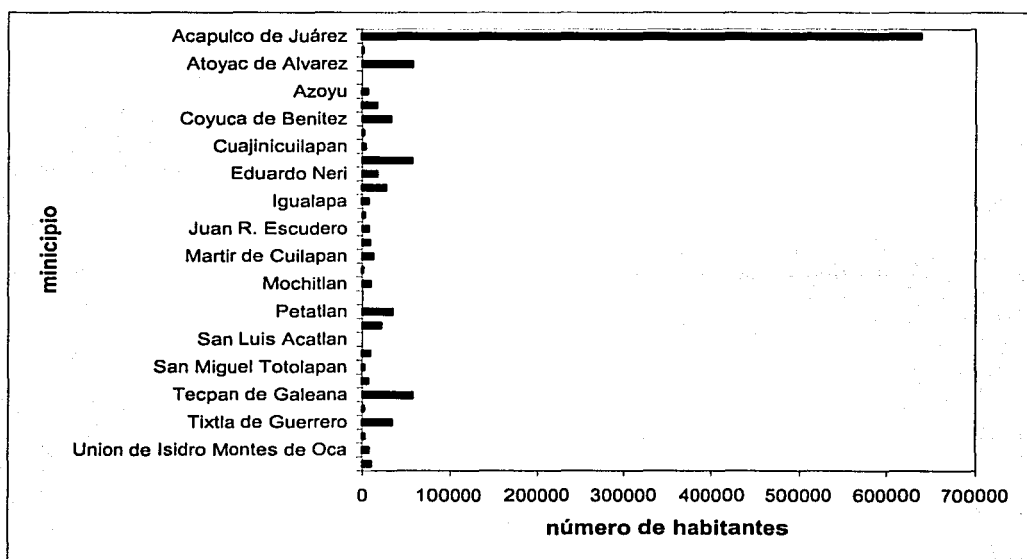


Figura 4.12 Población en la zona de riesgo medio.

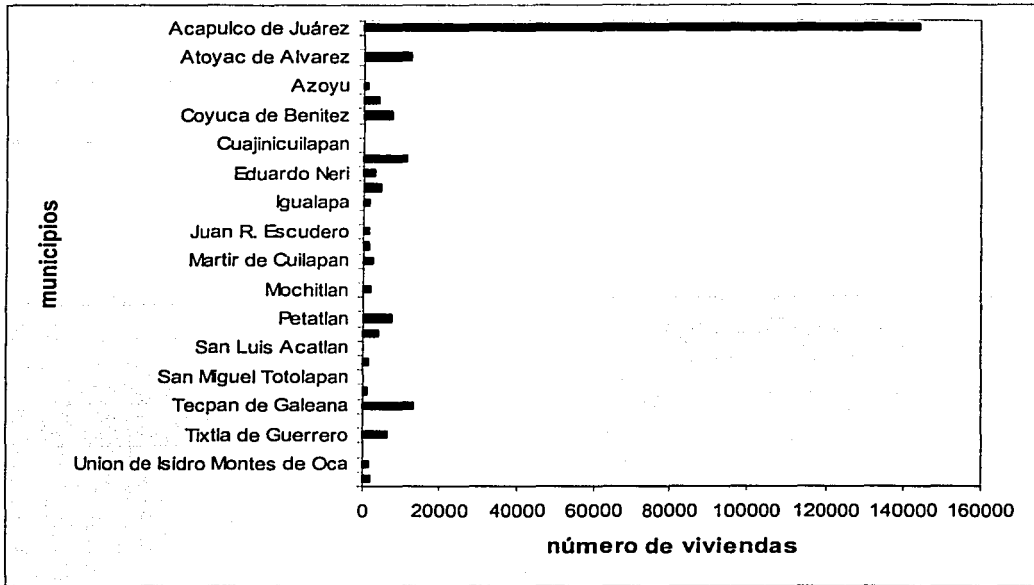


Figura 4.13 Número de viviendas en la zona de riesgo medio.

Los resultados de la zona de riesgo bajo se presentan en la tabla 4.6 y en las figuras 4.14 y 4.15. En esta zona se encuentran un total de 739 000 habitantes y 135 500 viviendas. Esta área de riesgo no de deja de ser vulnerable ante este tipo de fenómeno por solo presentar eventos de depresiones y tormentas tropicales, ya que además de ser la zona con mayor número de localidades, la topografía que se tiene en el estado de Guerrero favorece el que este tipo de fenómenos ocasionen grandes desastres. De hecho la región de Acapulco de Juárez que se encuentra dentro de esta zona de riesgo fue la más dañada con el paso del huracán Paulina en el año de 1997, debido a la infraestructura y tipo de suelo que se tenía en ese lugar.

Municipio	Número de habitantes	Número de Viviendas
Acapulco de Juárez	29 222	5244
Acatepec	16 017	2814
Ahuacuotzingo	21 918	3760
Ajuchitlán del progreso	2 387	372
Alcozauca de Guerrero	14 273	2162
Alpoyeca	5 293	991
Apaxtla	742	128
Atlamajalcingo del Monte	7 599	1172
Atlixtlac	18 762	3300
Atoyac de Álvarez	3 359	595
Ayutla de los libres	49 974	8499
Azoyu	26 234	5085

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Municipio	Número de habitantes	Número de Viviendas
Coahuayutla de José María Izazaga	34	6
Cocula	821	144
Copala	12 724	2544
Capalillo	6 475	1 087
Copanatoyac	14 095	2 362
Coyuca de Catalán	1 319	209
Cuajinicuilapa	779	138
Cualac	6 093	1 096
Cuauhtepec	13 802	2 453
Cuetzala del progreso	128	18
Chilapa de Álvarez	37 034	6 809
Eduardo Neri	1 000	148
Florencio Villareal	17 280	3 213
General Heliodoro Castillo	6 552	1 013
Huamuxtlán	12 678	2 551
Huitzoco de los Figueroa	1 332	220
Igualapa	2 031	329
Ixcamilpa de Guerrero	741	119
José Azueta	84 061	19 372
Malinaltepec	24 904	4 013
Martir de Cuilapán	3 447	535
Metlatonoc	25 255	4 196
Olinala	19 383	3 436
Petatlán	7 235	1 540
Quechultenango	9 008	1 529
San Luis Acatlán	31 010	5 252
San Marcos	39 191	7 587
San Mateo Nejapam	1 068	174
San Miguel Totolapán	10 388	1 561
Tecoanapa	35 348	6 077
Tecpan de Galeana	2 199	383
Tepecoacuilco de Trujano	7 910	1 419
Tlacoachistlahuaca	1 294	221
Tlacoapa	7 622	1 374
Tlalixtaquilla de Maldonado	2 929	472
Tlapa de Comonfort	50 006	8 964
Unión de Isidro Montes de Oca	12 228	2 458
Xalpatlahuac	10 546	1 579
Xochihuchuetlán	5 015	993
Zapotitlán Lagunas	645	107
Zapotitlán Tablas	11 222	1 980
Zitlala	8 451	1 628

Tabla 4.6 Municipios, número de habitantes y de viviendas que se encuentran dentro del área de riesgo bajo.

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

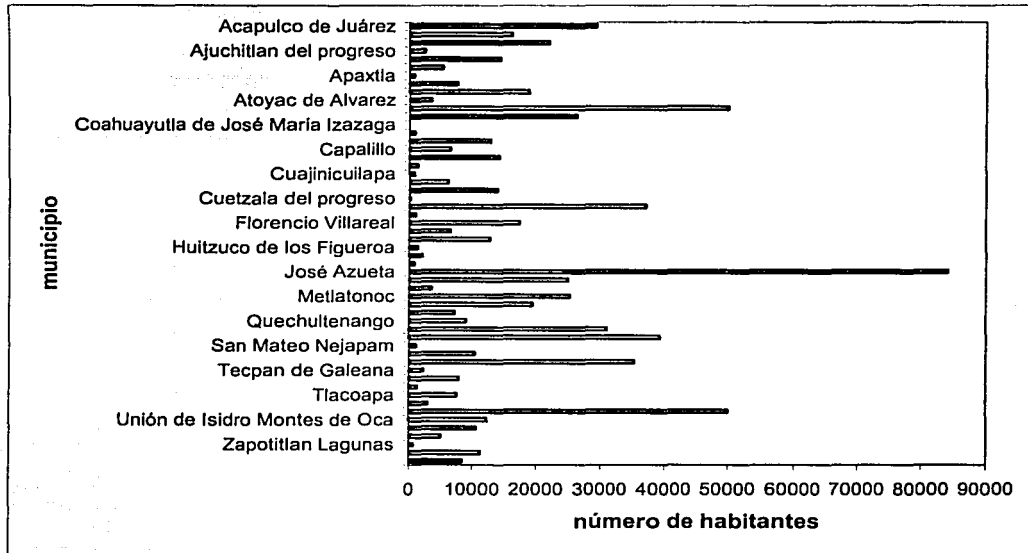


Figura 4.14 Población en la zona de riesgo bajo.

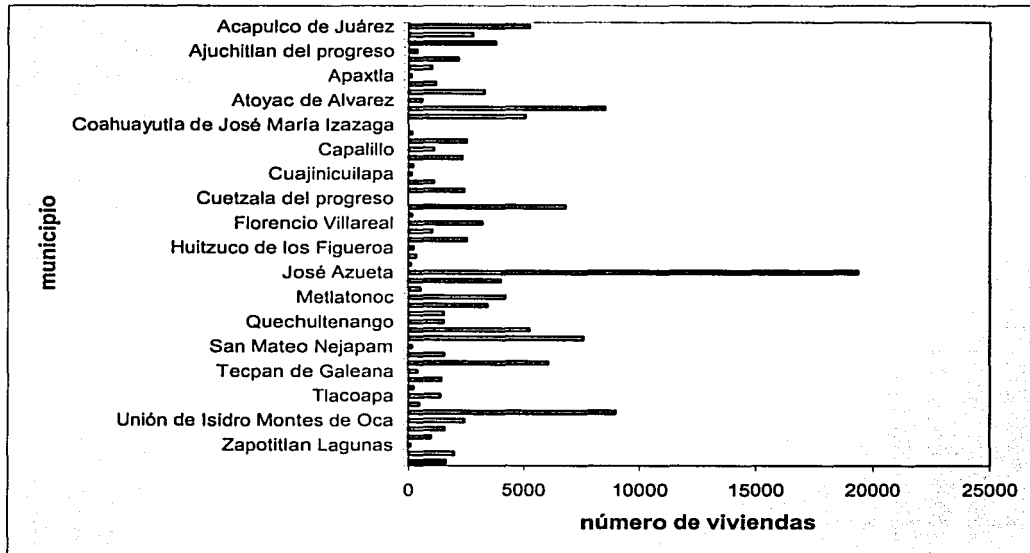


Figura 4.15 Número de viviendas en la zona de riesgo bajo.

Para el análisis de vulnerabilidad es importante conocer qué tipo de cobertura vegetal se tiene en el área, esta información sirve para realizar estudios de erosión, determinar coeficientes de escurrimiento, estabilidad de suelos, entre otros. También es importante

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

conocer este tipo de información debido al impacto económico que representa para el Estado los daños ocasionados por ciclones tropicales u otros fenómenos naturales.

En el estado de Guerrero se tiene el tipo de vegetación que se observa en la figura 4.16. El porcentaje de área total del Estado que abarca cada tipo de bosque se muestra en la tabla 4.7, donde se ve que el bosque tropical caducifolio es el que predomina en el Estado.

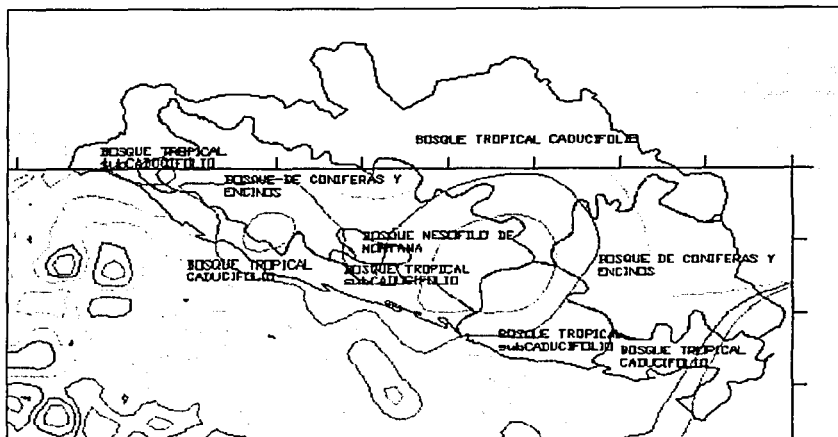


Figura 4.16 Mapa de vegetación en el estado de Guerrero junto con el mapa de zonas de riesgo.

Vegetación	Porcentaje de área total
Bosque tropical caducifolio	50.12
Bosque de coníferas y encinos	39.84
Bosque mesófilo de montaña	1.08
Bosque tropical subcaducifolio	8.96

Tabla 4.7 Porcentaje de área del Estado que cubre cada tipo de vegetación.

Vegetación	Porcentaje de área en la zona de riesgo			Fuera de la zona de estudio
	Alto	Medio	bajo	
Bosque tropical caducifolio	3.95	16.66	18.95	60.44
Bosque de coníferas y encinos	10.13	23.45	49.64	16.78
Bosque mesófilo de montaña	-	35.07	64.93	-
Bosque tropical subcaducifolio	22.8	27.57	49.33	0.3

Tabla 4.8 Porcentaje de las áreas de vegetación que se encuentran dentro de cada zona de riesgo.

En la tabla 4.8 se presenta según el porcentaje de área de cada tipo de vegetación su riesgo asociado. Los bosques tropical caducifolio y tropical subcaducifolio son los que mayor riesgo presentan ante la presencia de algún ciclón tropical debido a su localización.

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

En la figura 4.17 se observan las ecorregiones que existen en Guerrero junto con el mapa de las zonas de riesgo. En la figura se ve que la selva seca del Pacífico Sur es la más vulnerable ante la presencia de huracanes por ubicarse en toda la costa del Estado.

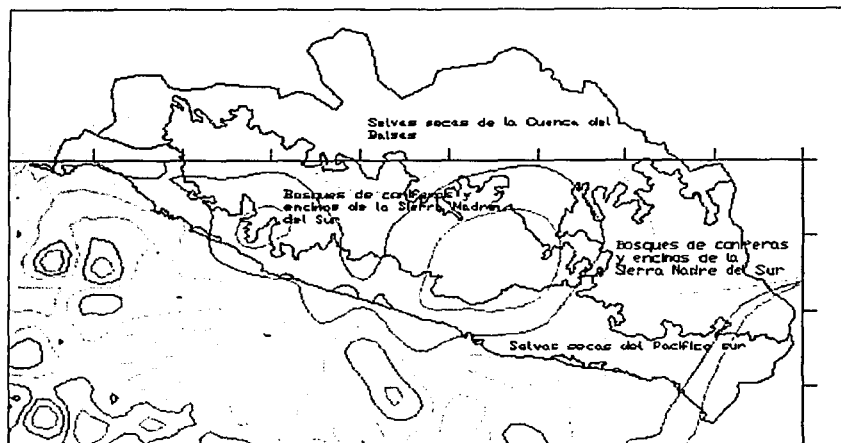


Figura 4.17 Mapa de ecorregiones en el estado de Guerrero junto con el mapa de curvas de igual intensidad.

En la tabla 4.9 se muestra el porcentaje de área que cada ecorregión comprende del territorio guerrerense, y en la tabla 4.10 se observa el porcentaje de área de cada una en las zonas de riesgo.

Ecorregiones	Porcentaje de área total
Selvas secas de la cuenca del Balsas	31.32
Bosque de coníferas y encinos de la sierra Madre del Sur	46.58
Selvas secas del Pacífico Sur	22.1

Tabla 4.9 Porcentaje de área del Estado que cubre cada ecorregión.

Ecorregiones	Porcentaje de área en la zona de riesgo			Fuera de la zona de estudio
	alto	medio	bajo	
Selvas secas de la cuenca del Balsas	1.72	6.88	19.71	71.69
Bosque de coníferas y encinos de la sierra Madre del Sur	14.34	17.31	36.19	32.16
Selvas secas del Pacífico Sur	16.82	35.22	38.31	9.65

Tabla 4.10 Porcentaje de área de ecorregión que se encuentra dentro de cada zona de igual intensidad.

El litoral de Guerrero representa el 17.33 por ciento de la costa total del Pacífico. De la cual, en la zona de riesgo alto se encuentra el 30 por ciento del área de la costa del Estado y en las zonas de riesgo medio y bajo se encuentra un 35 por ciento en cada una.

En el estado de Guerrero la costa está delimitada por la Sierra Madre del Sur, como se muestra en la figura 4.18. Cuando los huracanes chocan contra las montañas pierden toda su energía, es por esto que las zonas de vulnerabilidad y los efectos del fenómeno no llegan más allá de este límite.

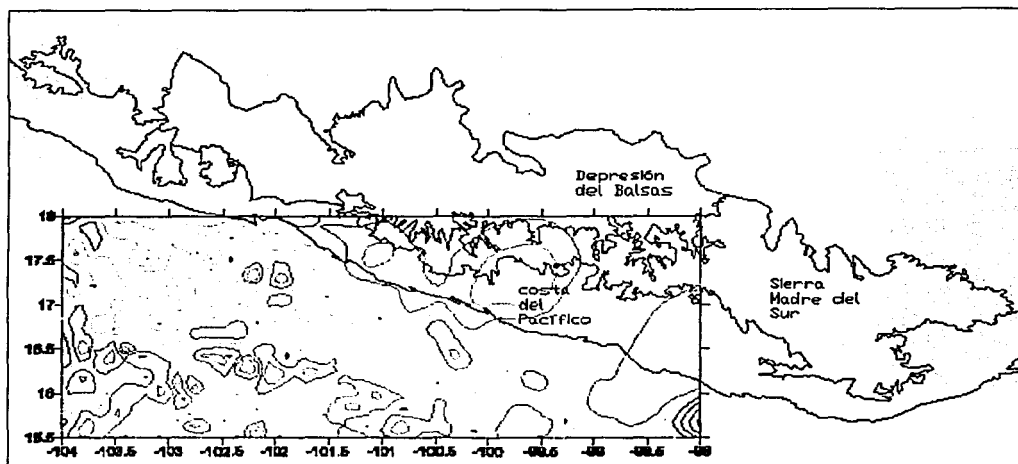


Figura 4.18 Mapa de la costa del Pacífico junto con el mapa de zonas de riesgo.

4.5 Sistema para la alerta temprana por presencia de huracanes

Como parte del estudio de vulnerabilidad, se presenta la metodología del sistema de alertamiento temprano a las zonas costeras en posible riesgo por presencia de huracán.

El alertamiento temprano consiste en generar un cruce de circunferencias de influencia geográficas y superponerlas a la capa geográfica de localidades y municipios de la republica mexicana.

Categoría	60 km	100 km	150 km	200 km	250 km	300 km	350km	400 km	500 km
Depresión Tropical	DT								
Tormenta Tropical	TT	DT							
Huracán clase 1	H1	TT	DT						
Huracán clase 2	H2	H1	TT	DT					
Huracán clase 3			H2	H1	TT	DT			
Huracán clase 4					H2	H1	TT	DT	
Huracán clase 5						H2	H1	TT	DT

Tabla 4.11 Relación de intensidades con radios de afectación

El criterio de generación de las circunferencias de influencia por la acción de los huracanes se tomó de la tabla propuesta por Saffir-Simpson, tabla 4.11, que relaciona la intensidad del evento con radios de afectación para diferentes intensidades de huracán.

Capítulo 4. Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en Guerrero

Esto quiere decir que si se presenta un huracán clase 2, se tendrá una afectación equivalente a la acción de una depresión tropical en el área definida entre 200 y 150 kilómetros a partir del centro del huracán y una afectación directa de un huracán clase 2 dentro de un radio de afectación de 60 kilómetros.

La importancia de contar con un sistema de alertamiento temprano, es la de poder generar avisos con antelación a las poblaciones que se encuentran dentro de determinadas áreas de afectación para cada aviso que se publique. Se pueden generar listados que contienen el nombre de la localidad, el municipio, la población y su localización geográfica.

La figura 4.19 muestra el análisis de alertamiento temprano para el huracán Carlota en el aviso del día 20 de junio de 2000 a las 12:00hr con una intensidad de huracán clase 4, y una presión central de 955mb.

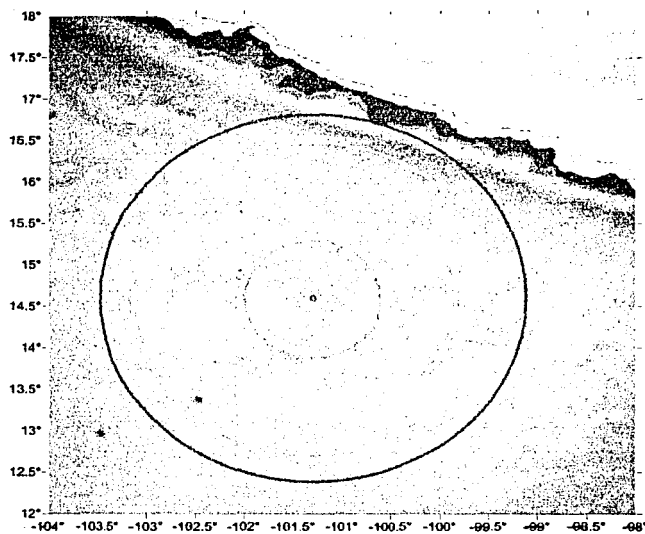


Figura 4.19 Análisis de alerta temprana para el huracán Carlota (1997).

**CAPÍTULO 5. ANÁLISIS EXTREMAL EN LA COSTA DEL
ESTADO DE GUERRERO**

5. ANÁLISIS EXTREMAL EN LA COSTA DEL ESTADO DE GUERRERO

5.1 Introducción

Normalmente, el diseño de estructuras se ha caracterizado por el desconocimiento o la desatención de una gran cantidad de parámetros. Si bien, pueden distinguirse una serie de factores cuya influencia no es relevante para el diseño, sí debe notarse que la aleatoriedad de algunos factores no se ha tratado adecuadamente, esto es, generalmente se utiliza el factor de seguridad para absorber las variaciones en el comportamiento tanto de la estructura como de las condiciones de operación. Esta forma de ofrecer seguridad es tan simple que se vuelve insuficiente en casos en los que las condiciones de operación son variables aleatorias.

Se ha encontrado que este problema puede solucionarse con el estudio de la distribución de los valores extremos. Es decir, al considerar que los valores máximos que alcanzan las condiciones de operación son variables aleatorias.

En el caso particular de la ingeniería marítima, el diseño de estructuras está sujeto, en general, a dos factores: la altura de ola y su periodo asociado. De ambos interesa conocer los valores más grandes que pueden alcanzar, por lo que las estimaciones deben considerar análisis extremal.

El análisis extremal requiere de la revisión de algunos conceptos.

5.1.1 Excedencias

Comúnmente el ingeniero está interesado en fenómenos que exceden un cierto valor. Esto es, el diseñador debe conocer los valores críticos de un parámetro y ha de indagar la frecuencia con que ocurren.

Se considera que la ocurrencia de sucesos raros, es decir, aquellos que exceden un cierto umbral siguen una ley tipo Poisson.

5.1.2 Periodo de retorno

El periodo de retorno se define como el valor medio del tiempo que transcurre entre apariciones sucesivas de un evento. En ingeniería la vida útil de una obra suele coincidir con el periodo de retorno del evento que ocasiona su falla.

5.1.3 Estadístico de orden

Si se tiene una muestra (x_1, x_2, \dots, x_n) , ordenada en forma creciente como $(x_{1:n}, x_{2:n}, \dots, x_{n:n})$, el miembro $x_{r:n}$ se denomina estadístico de orden "r" de la muestra.

Un estadístico de orden debe estar asociado a un tamaño de muestra y a un orden en la misma. Este orden debe ser tal que el primer valor sea el mínimo y el último el máximo. Esto es:

$$x_{n:n} = \text{Max}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{y} \quad x_{1:n} = \text{Min}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

5.2 Distribución de un estadístico de orden

Sea $x(k)$ la variable de interés, para cualquier valor de x el evento $x(k) \leq x$ esta definido como los posibles valores de k que cumplen esa desigualdad. La función de distribución de probabilidad $P(x)$ es:

$$P(x) = \text{Pr ob}[x(k) \leq x] \tag{5.1}$$

A partir de ahí se pueden definir distribuciones particulares, tanto para máximos como para mínimos. Dado el tipo de fenómenos que se describen en este trabajo, las únicas distribuciones útiles para análisis extremal son Gumbel, Weibull y Frechet, las cuales se estudian a continuación.

5.2.1 Distribución de Gumbel

Las funciones de probabilidad acumulada de Gumbel para máximos y mínimos son, respectivamente:

$$G(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{-(x-\lambda)}{\delta}\right)\right]; \quad -\infty < x < \infty; \delta > 0 \tag{5.2}$$

$$\underline{G}(x) = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{-(x-\lambda)}{\delta}\right)\right]; \quad -\infty < x < \infty; \delta > 0 \tag{5.3}$$

donde, según el método de los momentos

$$\delta = \frac{s_x \sqrt{6}}{\pi}$$

$$\lambda = \bar{x} + 0.5772\delta$$

La importancia de la distribución de Gumbel es debida a la facilidad con la que se calculan los parámetros. Esto ha permitido que se utilice para modelar una gran variedad de fenómenos, específicamente para máximos.

5.2.2 Distribución de Weibull

Las funciones de probabilidad acumulada de Weibull para máximos y mínimos, respectivamente son:

$$G(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{\lambda-x}{\delta}\right)^\beta\right]; & x \leq \lambda \\ 1 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad (5.4)$$

$$\underline{G}(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{\lambda-x}{\delta}\right)^\beta\right]; & x \geq \lambda \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad (5.5)$$

λ es un parámetro valuado arbitrariamente.

donde:

- en función de los parámetros de Gumbel

$$\lambda_G = -\log(\delta_W)$$

$$\delta_G = \frac{1}{\beta_W}$$

Los subíndices G y W denotan distribución de Gumbel y Weibull, respectivamente

- por el método de los momentos

$$\delta = \frac{\bar{x} - \lambda}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$$

$$s_x^2 = (\bar{x} - \lambda)^2 \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} - 1 \right]$$

donde Γ es la función gamma

La distribución de Weibull se ha utilizado ampliamente para la simulación de fenómenos donde predomina el interés por los máximos y puede aproximar tanto como se desee a la distribución de Gumbel.

5.2.3 Distribución de Frechet

Las funciones de probabilidad acumulada de Frechet para máximos y mínimos, respectivamente son:

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{\delta}{\lambda-x}\right)^\beta\right]; & x \geq \lambda \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\underline{F}(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{\delta}{\lambda-x}\right)^\beta\right]; & x \leq \lambda \\ 1 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad (5.7)$$

donde:

- en función de los parámetros de Gumbel

$$\lambda_G = \log(\delta_F)$$

$$\delta_G = \frac{1}{\beta_F}$$

El subíndice F denota distribución de Frechet.

Goda (1988) demostró que esta distribución sobrestima las alturas de ola para periodos de retorno largos.

5.3 Resultados

Se aplicó el análisis extremal a los datos contenidos en la base de datos histórica de los huracanes que han pasado por la zona de estudio. Los parámetros que se modelaron son altura de ola, velocidad del viento y presión.

Se tomaron de la base de datos los valores de cada parámetro y se calculó su probabilidad. Por otro lado se dibujaron las curvas correspondientes a las distribuciones de Gumbel, Weibull y Frechet para máximos y se compararon con la probabilidad acumulada de los

datos medidos. La distribución que mejor ajustó fue Gumbel y los resultados se muestran a continuación.

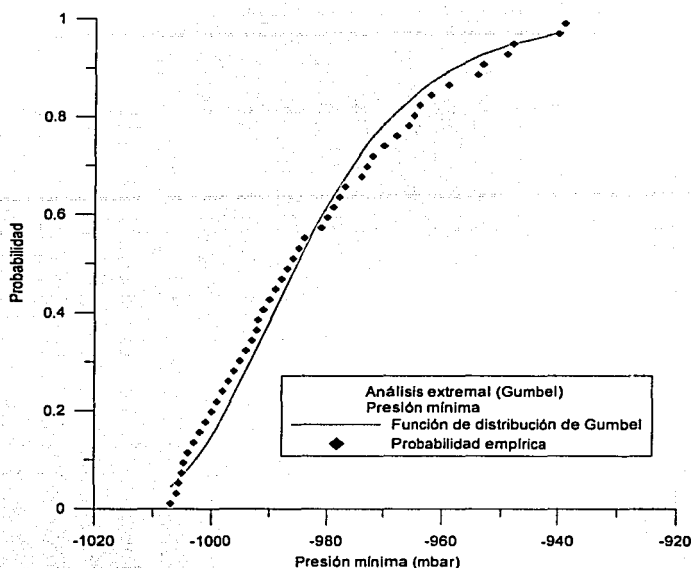


Figura 5.2 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de presión.

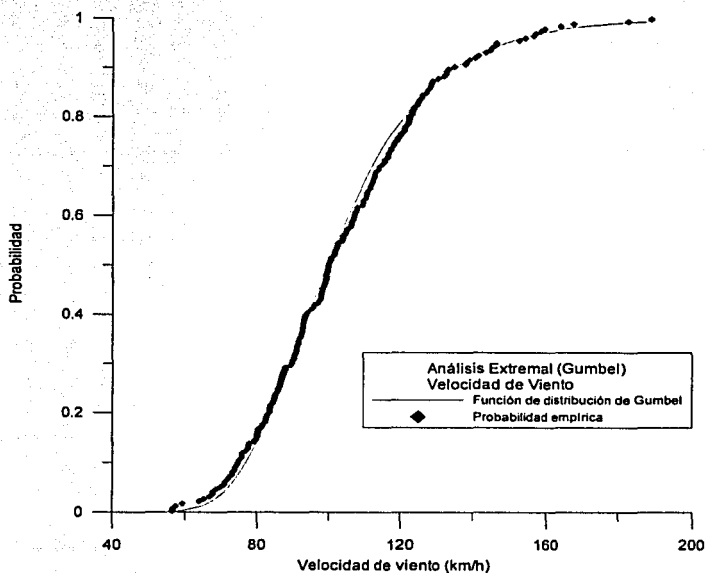


Figura 5.1 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de velocidad de viento.

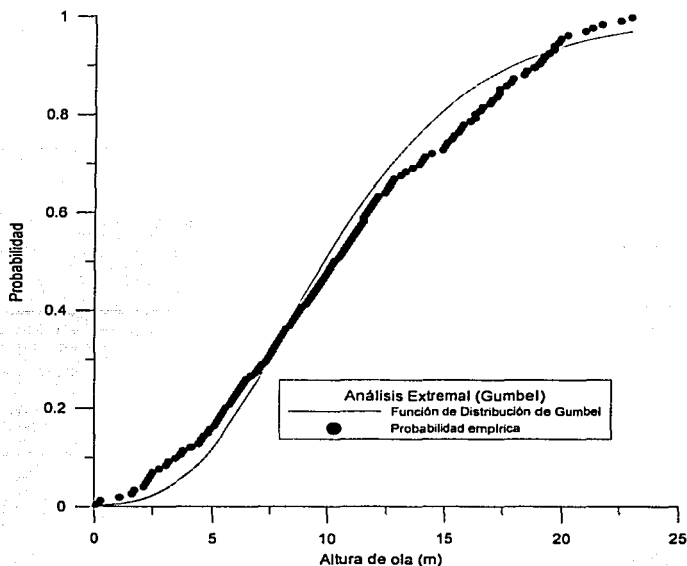


Figura 5.3 Comparación entre la distribución de Gumbel y los datos medidos de altura de ola.

El análisis extremal realizado en este trabajo sirve, entre otras aplicaciones, para determinar las características (altura de ola, velocidad del viento y presión) correspondientes a una tormenta de diseño asociada a un periodo de retorno.

Dado un periodo de retorno, τ , la probabilidad de que se presente un determinado valor x dentro de ese intervalo de tiempo está dada por

$$F(x) = 1 - \frac{1}{\tau} \quad (5.8)$$

donde:

- $F(x)$ valor de función de probabilidad acumulada
- x valor del fenómeno (en este caso altura de ola, velocidad del viento o presión)
- τ periodo de retorno

Como ejemplo, sea un huracán con un periodo de retorno de 50 años y se desea calcular la altura de ola de la tormenta de diseño, el valor de la función de probabilidad acumulada correspondiente es

$$F(x) = 1 - \frac{1}{50} = 0.98$$

Con ese valor se determina, a partir de la figura 5.3, lo que será la altura cuadrática media de la tormenta de la tormenta de diseño, que en este caso es de aproximadamente 23 metros. A partir de esta altura de ola y la duración de la tormenta se determina la altura de ola de diseño, que es función de la distribución de probabilidad del oleaje local.

Un procedimiento similar puede seguirse para los casos de velocidad del viento y presión, a fin de completar el diseño particular.

6. CONCLUSIONES

- Se realizaron los mapas históricos de presión mínima, máxima velocidad de viento, máxima altura de ola y periodo asociado a la altura de ola máxima registrados para la zona de interés, de donde se obtuvo que las regiones más afectadas históricamente por la presencia de estos fenómenos ha sido la región Noreste de la zona de estudio.
- Con la cantidad de avisos que se presentaron en la zona de estudio y su intensidad, se generaron los histogramas de ocurrencia de huracanes. Fue notoria la ocurrencia moderada de huracanes clase 2 y mayores, en contraste, un gran número de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes clase 1. No se reportaron avisos con intensidad de huracán clase 5 en esta zona. Por lo anterior se concluye que la mayoría de los daños se deben a la precipitación y a la topografía que presenta el Estado.
- Con la ubicación geográfica e intensidad de cada aviso se generaron áreas de influencia para cada intensidad y se construyeron mapas de zonas de igual intensidad. Con esta información se obtuvo una alta concentración de curvas con intensidades de depresión tropical, tormenta tropical y huracán clase 1; una concentración moderada de curvas de intensidad de huracán clase 2 y una presencia escasa de curvas de intensidad de huracanes clase 3 y 4. Muy cerca de la costa se observó que predominaron avisos con intensidades huracán clase 1 y en tierra sólo presentaron depresiones y tormentas tropicales.
- Al realizar el cruce de información de las zonas de igual intensidad con el mapa de municipios y localidades del Estado se obtuvieron las tres zonas de riesgo. Se determinaron como zonas de riesgo alto, regiones donde se presentaron avisos hasta intensidad clase 4, zonas de riesgo medio y bajo las que presentaron avisos hasta intensidad de huracán clase 2 y de tormenta tropical, respectivamente. Se determinó que los municipios que se encuentran localizados en el litoral del Estado son vulnerables ante la presencia de estos fenómenos debido al viento, oleaje e inundaciones que éstos provocan.
- Al realizar el análisis de vulnerabilidad para cada municipio afectado, con los datos de población y número de viviendas de las localidades registradas en cada zona de riesgo se encontraron las poblaciones e infraestructura en posible afectación. En la zona de riesgo medio se presenta el mayor número de población y viviendas. De acuerdo con los daños históricos, esta zona ha sido la más afectadas en la costa de Guerrero. Se puede decir que la zona de riesgo alto es peligrosa debido a que en ella existe mayor probabilidad que se presenten huracanes de alta intensidad. La zona de riesgo bajo contiene el mayor número de localidades y también se han reportado daños significativos.
- Se realizó el análisis extremal para la base de datos histórica

7. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

- Integrar al análisis de vulnerabilidad histórica, toda la zona del Atlántico y Pacífico mexicano para generar zonas de vulnerabilidad histórica a lo largo de los más de 11 000 km de costa.
- Incluir en el análisis de vulnerabilidad histórico los datos de inundaciones por mareas de tormenta históricos presentados en todo el litoral mexicano.
- Adicionar al análisis de vulnerabilidad por eventos de iso-intensidad, más capas geográficas para obtener tablas cruzadas de tipo de daño posible contra infraestructura diversa.
- Integrar el sistema de alertamiento temprano al sistema de vulnerabilidad como un módulo de aplicación a priori del análisis de vulnerabilidad total.
- Relacionar las zonas de vulnerabilidad baja, media y alta con periodos de retorno de ocurrencia de fenómenos a partir de un análisis estadístico exhaustivo.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bretschneider, C. (1990) Tropical cyclones. Gulf Publishing. Handbook on Ocean Engineering, Chapter 6.
2. CDMP/CIMH (1999) Storm Hazard Atlas Introductory Text, Unit of Sustainable Development and Environment for the USAID Office of Foreign Disaster Assistance and the Caribbean Regional Program.
3. Contreras A (1999) Pronostico de trayectoria de ciclones utilizando datos estadísticos y sistemas de percepción remota en tiempo real. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM.
4. Contreras A (2000) Estudio océano meteorológico del del riesgo generado por ciclones tropicales en el litoral mexicano Tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniero Civil, DEPFI, UNAM.
5. Dean R.G., Chiu T. Y., Wang S. Y. (1995) Combined total storm tide frequency analysis for Pinellas County, Florida. Florida State University.
6. Díaz G (2000) Análisis de vulnerabilidad por presencia de huracanes en el litoral de la Península de Yucatán. Tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniero Civil, DEPFI, UNAM.
7. Díaz G, Contreras A, Pedrozo A, Silva R. (2000) "Sistema para la evaluación de riesgos oceanográficos generados por ciclones tropicales" AMH, XVI Congreso Nacional de Hidráulica, Morelia, México.
8. Inter-American Development Bank Newsletter (1989) "Emergency Plan for the Yucatan". Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.
9. Jacob S. D. (1998) Upper Ocean Report to Tropical Cyclone Wind Asymmetries. RSMAS, Miami Florida.
10. Pan K. (1996) A parametric Wind field model for Hurricane Risk Assessment. ASCE.
11. Sánchez, C. et al. (1998) Comparison of 4 wave prediction models. 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. Melbourne Fl. Pp. 134-145.
12. Silva R, Díaz G., Contreras A., Bautista G. & Sánchez C. (2000) "Determination of oceanografics risk for hurricanes on the Mexican coast", 6th international Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, pg 137-160.
13. Silva R. Contreras A., Díaz G. (2000). Development of an M.I.S. for the prevention of hurricane damage on the Mexican Coast. Management Information Systems 2000. GIS and Remote Sensing. WIT press. UK. Pp. 471-480.

Bibliografía

14. Silva R, Contreras A, Bautista G, Díaz G (2000) "Determinación del Riesgo Oceanográfico en el Litoral Mexicano", XI Congreso Panamericano de Ingeniería Oceánica y Costera. Panamá.
15. UNDR0. News. (1989). "Hurricanes Gilbert and Joan: Implications for the Caribbean Housing Sector" (Geneva: UNDR0, 1989).
16. Van Gelder, P.H.A.J.M. (1999). Statistical Methods for the Risk-Based Design of Civil Structures. T.U. Delft. Ne.