



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

"PRECIPITACIÓN CICLÓNICA COMO UN RIESGO NATURAL"

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTORA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A:

LUCÍA GUADALUPE MATÍAS RAMÍREZ

TUTOR:

Dr. JOSE LUGO HUBP, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, POSGRADO

COMITÉ TUTOR:

**Dra. VIRGINIA GARCÍA ACOSTA CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS SUPERIORES EN
ANTROPOLOGÍA SOCIAL**

Dra. CARMEN JUÁREZ GUTIÉRREZ, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA,

Dr. ÓSCAR FUENTES MARILES, INSTITUTO DE INGENIERÍA,

Dra. ROSALÍA VIDAL ZEPEDA, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

MÉXICO D.F., MAYO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

*A la memoria del Dr. Miguel Cortés Vázquez[†],
quien me ayudó a iniciar el camino en la investigación,
y no pudo ver el final*

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y brindarme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi esposo **Leonardo**, por ser el pilar en mi vida, el profesor particular que me ayudó a resolver muchas dudas, por su amor incondicional, pero sobre todo por su paciencia y tenacidad.

A mis padres **Ignacia y Agustín**, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, pero sobre todo por su inmenso amor.

Al Comité tutorial, integrado por las siguientes personas:

Dr. Óscar Fuentes Mariles, porque sus ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación académica.

Dra. Virginia García Acosta, por su orientación y rigurosidad que ha sido la clave del buen trabajo, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

Dra. Carmen Juárez Gutiérrez, por haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta investigación.

Dr. José Lugo Hubp, por su apoyo y confianza como tutor, porque nunca perdió la esperanza de que culminaría con este gran reto académico.

Dra. Rosalía Vidal Zepeda, por su importante aporte y disponibilidad en el desarrollo de esta tesis y por ser mi mentora en el tema de la climatología.

No cabe duda que la participación de cada uno de ustedes enriqueció el trabajo realizado. Además, significó el surgimiento de una sólida amistad.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, pero ustedes saben quiénes son.

GRACIAS

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 5 |
| CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LOS RIESGOS | 6 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1.2 PRINCIPALES ENFOQUES PARA ABORDAR LOS ESTUDIOS DE RIESGOS DE DESASTRES | 8 |
| 1.2.1 Enfoque dominante: Determinismo físico | 8 |
| 1.2.2 Enfoque histórico | 9 |
| 1.2.3 Enfoque estructural- funcionalista..... | 10 |
| 1.2.4 Enfoque alternativo..... | 12 |
| 1.2.5 Enfoque estadístico..... | 18 |
| 1.2.6 Enfoque financiero | 19 |
| 1.2.7 Contribuciones de algunos autores | 20 |
| 1.3 EVOLUCIÓN DE CONCEPTOS..... | 21 |
| 1.4 MARCO CONCEPTUAL..... | 22 |
| 1.5 CONCLUSIONES..... | 24 |
| 1.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 25 |
| CAPÍTULO 2. ESTIMACIÓN DEL PELIGRO DE LOS CICLONES TROPICALES DEL PACÍFICO NORORIENTAL..... | 30 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN..... | 30 |
| 2.2 CICLONES TROPICALES..... | 30 |
| 2.2.1 Zonas ciclogénicas..... | 31 |
| 2.2.2 Energía de un ciclón tropical | 33 |
| 2.2.3 Estructura de un ciclón tropical | 35 |
| 2.2.4 Efectos de los ciclones tropicales..... | 37 |
| 2.2.5 Ciclones tropicales en México..... | 40 |
| 2.3 DATOS Y METODOLOGÍA | 45 |
| 2.4 CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES | 50 |
| 2.4.1 Obtención de la probabilidad de presentación anual de tormentas tropicals o huracanes en ciertas celdas de interés..... | 51 |
| 2.5 CONCLUSIONES..... | 54 |
| 2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 54 |
| CAPÍTULO 3. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO MEXICANO... 57 | 57 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN..... | 57 |
| 3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACIÓN DE LOS CICLONES | 58 |

| | | |
|--|--|-----|
| 3.3 | UMBRAL DE DISTANCIA PARA DEFINIR LA PRECIPITACIÓN ASOCIADA A LOS CICLONES TROPICALES | 59 |
| 3.4 | DATOS Y METODOLOGÍA | 62 |
| 3.5 | ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE PELIGRO POR PRECIPITACIÓN ASOCIADA A CICLONES TROPICALES | 66 |
| 3.6 | ÍNDICE DE PELIGRO | 70 |
| 3.7 | CONCLUSIONES | 72 |
| 3.8 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| CAPÍTULO 4. VULNERABILIDAD ANTE CICLONES TROPICALES EN MÉXICO | | 75 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN | 75 |
| 4.2 | ELEMENTOS QUE AFECTAN LA OCURRENCIA Y SEVERIDAD DE LOS CICLONES TROPICALES | 75 |
| 4.3 | FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MORTALIDAD Y LA MORBILIDAD A CAUSA DEL PASO DE LOS CICLONES..... | 76 |
| 4.4 | ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN EXPUESTA A CICLONES | 77 |
| 4.5 | ÍNDICES DE VULNERABILIDAD EXISTENTES EN MÉXICO | 80 |
| 4.6 | ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL DEL IMTA..... | 80 |
| 4.7 | ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL PARA EL GOLFO DE MÉXICO O ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD | 84 |
| 4.8 | GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL (GVS) DEL CENAPRED..... | 87 |
| 4.9 | ÍNDICE DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE RIESGOS DE LA SEDESOL..... | 90 |
| 4.10 | VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA FRENTE A DESASTRES EN LA RIVERA MEXICANA..... | 93 |
| 4.11 | ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIODEMOGRÁFICA..... | 95 |
| 4.12 | ÍNDICE DE VIVIENDA CON MATERIALES PRECARIOS (IVMP) | 97 |
| 4.13 | CONCLUSIONES | 107 |
| 4.14 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 108 |
| CAPÍTULO 5. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO POR PRECIPITACIÓN CICLÓNICA..... | | 110 |
| 5.1 | INTRODUCCIÓN | 110 |
| 5.2 | CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO POR PRECIPITACIÓN CICLÓNICA..... | 111 |
| 5.3 | CONCLUSIONES | 115 |
| 5.4 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 116 |
| CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | | 117 |
| LÍNEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN..... | | 118 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Distribución anual de las pérdidas humanas debidas a los fenómenos hidrometeorológicos en México durante 1999-2010 | 2 |
| Figura 2. Distribución anual de las pérdidas económicas debidas a los fenómenos hidrometeorológicos en México durante 1999-2010 | 3 |
| Figura 2.1 Imagen de satélite del huracán Juliette de 2001, acercándose a la costa de los estados de Jalisco y Colima | 31 |
| Figura 2.2 Magnitud de los vientos concéntricos de un ciclón tropical..... | 31 |
| Figura 2.3 Zonas ciclogénicas en el mundo..... | 32 |
| Figura 2.4 Principales trayectorias de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental | 33 |
| Figura 2.5 Isobaras del huracán Roxanne del 11 de octubre de 1995 a las 07:00 h..... | 34 |
| Figura 2.6 Vientos máximos sostenidos del huracán Jimena a las 15:30 h local del centro, del 1 de septiembre de 2009..... | 34 |
| Figura 2.7 Condiciones atmosféricas en una sección transversal de un ciclón | 36 |
| Figura 2.8 Características de los vientos de un ciclón tropical | 36 |
| Figura 2.9 Silos dañados por el viento del huracán Lane (2006) en La Cruz de Elota, Sinaloa | 38 |
| Figura 2.10 Efecto del incremento del nivel medio del mar | 38 |
| Figura 2.11 Oleaje alto en el puerto de Mazatlán causado por la tormenta tropical Paul, 25 de octubre de 2006 | 39 |
| Figura 2.12 Precipitación del día 9 de octubre producida por el huracán Pauline..... | 40 |
| Figura 2.13 Huracanes o ciclones registrados por estado en los siglos XV al XIX..... | 42 |
| Figura 2.14 Promedio anual de los ciclones tropicales en las costas del golfo de México y mar Caribe | 44 |
| Figura 2.15 Promedio anual de los ciclones tropicales en las costas del Pacífico nororiental | 45 |
| Figura 2.16 Cuadrantes analizados para estimar la probabilidad de ocurrencia de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental..... | 47 |
| Figura 2.17 Trayectorias de ciclones tropicales analizadas para estimar la probabilidad de ocurrencia..... | 48 |
| Figura 2.18 Número de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes de distinta categoría que se han presentado en 60 años en el Pacífico Nororiental | 49 |
| Figura 2.19 Probabilidad anual de presentarse tormentas tropicales y huracanes en las costas del Pacífico Nororiental, al menos un evento en un año..... | 52 |
| Figura 2.20 Probabilidad anual de presentarse ciclones tropicales de cualquier categoría en las costas del Pacífico Nororiental | 53 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 3.1 | Precipitación más frecuente del mes de septiembre..... | 58 |
| Figura 3.2 | Histograma de precipitación diaria para algunos ciclones que pasaron a menos de 550 km de distancia del observatorio de Acapulco, Guerrero..... | 61 |
| Figura 3.3 | Localización de estaciones climatológicas utilizadas en el análisis..... | 64 |
| Figura 3.4 | Distribución estatal de las estaciones climatológicas | 65 |
| Figura 3.5 | Distribución estatal del percentil 95 para cada una de las estaciones | 66 |
| Figura 3.6 | Distribución estatal de la mediana para cada una de las estaciones..... | 67 |
| Figura 3.7 | Distribución estatal de la media para cada una de las estaciones..... | 67 |
| Figura 3.8 | Distribución estatal de la desviación estándar para cada una de las estaciones | 68 |
| Figura 3.9 | Distribución estatal del coeficiente de variación para cada una de las estaciones | 68 |
| Figura 3.10 | Distribución estatal del valor máximo para cada una de las estaciones | 69 |
| Figura 3.11 | Isoyetas del percentil 95 en mm | 71 |
| Figura 4.1 | Tasa de crecimiento total para cada estado del país..... | 79 |
| Figura 4.2 | Índice de vulnerabilidad social por municipios para la República Mexicana..... | 83 |
| Figura 4.3 | Vulnerabilidad social en el golfo de México a nivel municipal | 86 |
| Figura 4.4 | Grado de vulnerabilidad social por municipio al 2000..... | 89 |
| Figura 4.5 | Nivel de pobreza patrimonial según prioridad para los municipios con eventos de origen hidrometeorológico | 92 |
| Figura 4.6 | Nivel socioeconómico en la Riviera Mexicana | 94 |
| Figura 4.7 | Vulnerabilidad sociodemográfica por municipio | 96 |
| Figura 4.8 | Índice de vulnerabilidad por materiales débiles | 100 |
| Figura 4.9 | Índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones | 103 |
| Figura 4.10 | Índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones de la vertiente del Pacífico nororiental..... | 105 |
| Figura 4.11 | Porcentaje de la población vulnerable por la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones de la vertiente del Pacífico nororiental | 107 |
| Figura 5.1 | Distribución municipal del Riesgo asociado a la precipitación de los ciclones tropicales..... | 113 |
| Figura 5.2 | Porcentaje de la población estatal susceptible al riesgo por precipitación ciclónica | 115 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1.1. Contribuciones de algunos teóricos de los riesgos | 20 |
| Tabla 2.1 Escala de daño potencial según la Organización Meteorológica Mundial..... | 35 |
| Tabla 2.2 Huracanes o ciclones registrados en los siglos XV-XVIII | 41 |
| Tabla 2.3 Huracanes o ciclones registrados en el siglo XIX | 41 |
| Tabla 2.4 Algunos ciclones tropicales registrados en el siglo XX y XXI..... | 43 |
| Tabla 3.1 Percentil P95 de las precipitaciones anuales en el estado de Colima..... | 70 |
| Tabla 3.2 Percentil P95 de la precipitación ciclónica acumulada en 3 días, para Colima..... | 70 |
| Tabla 4.1 Indicadores seleccionados para el IVS..... | 81 |
| Tabla 4.2 Indicadores socioeconómicos para la elaboración del Grado de vulnerabilidad social..... | 87 |
| Tabla 4.3 Resumen de la vulnerabilidad de la vivienda según materiales débiles, 2010 | 101 |
| Tabla 4.4 Calificación del Grado de vulnerabilidad social | 101 |
| Tabla 4.5 Vulnerabilidad de la vivienda precaria | 104 |
| Tabla 4.6 Vulnerabilidad de la vivienda precaria para los estados de la vertiente del océano Pacífico..... | 106 |
| Tabla 5.1 Resultados del índice de riesgo por precipitación ciclónica..... | 112 |
| Tabla 5.2 Índice estatal de riesgo por precipitación ciclónica según categoría | 114 |

RESUMEN

Los ciclones tropicales cada año ocasionan a México severos daños, debido a los fenómenos asociados a estos meteoros como son la precipitación, el viento, el oleaje y la marea de tormenta. En esta investigación se analiza la lluvia asociada a los ciclones del océano Pacífico nororiental y se determina el riesgo, con base en las características de los materiales de la vivienda y en las condiciones sociales de la población que habita en la vertiente del océano Pacífico. Para tal propósito, se manejan datos diarios de precipitación para 290 estaciones climatológicas durante el periodo 1970-2010, donde se emplea el percentil 95 para conocer los valores extremos que son generados esencialmente por los ciclones cuando están a no más de 550 km de distancia de cada estación de registro. Asimismo, se formula un índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria, el cual se refiere a los materiales débiles de construcción de los techos y muros. Finalmente, se calcula el índice de riesgo con base en el peligro asociado a la precipitación y el índice de vulnerabilidad, con éste se identifica que de los 1276 municipios analizados sólo el 26% obtiene una calificación de muy alto y alto, donde destacan los municipios de Chiapas y Guerrero, siendo estos estados los que poseen deprimidas características socioeconómicas.

ABSTRACT

Tropical cyclones cause severe damage every year in Mexico due to the associated precipitation, wind, waves and storm surge. This research analyzes the rain associated with northeastern Pacific Ocean cyclones and the risk is determined based on the characteristics of the housing material and social conditions of the population living on the Pacific Ocean side. For this purpose, daily rainfall data for 290 weather stations for the period 1970 to 2010 were processed, where the 95th percentile was used for extreme values generated by cyclones when they are no more than 550 km away from each recording station. Also a vulnerability index of precarious housing, which refers to weak construction materials in roof and walls, was formulated. Finally, the risk index, based on the risk associated with the precipitation and the vulnerability index, is calculated, identifying that from 1276 municipalities analyzed only 26% is classified as very high and high risk, which include municipalities from Chiapas and Guerrero states, which have depressed socioeconomic characteristics.

INTRODUCCIÓN GENERAL

México es uno de los pocos países en el mundo que es afectado por ciclones tropicales de dos océanos diferentes, los del Atlántico y los del Pacífico. En la cuenca del Pacífico nororiental se genera el mayor número de fenómenos tropicales de todo el planeta. Las trayectorias de estos meteoros son del sureste a noroeste, paralelos a las costas de México; sin embargo, en algunas ocasiones estos presentan trayectos paralelos al territorio nacional que en ocasiones llegan a recurvar al este para tocar las costas mexicanas, desde Chiapas hasta Baja California.

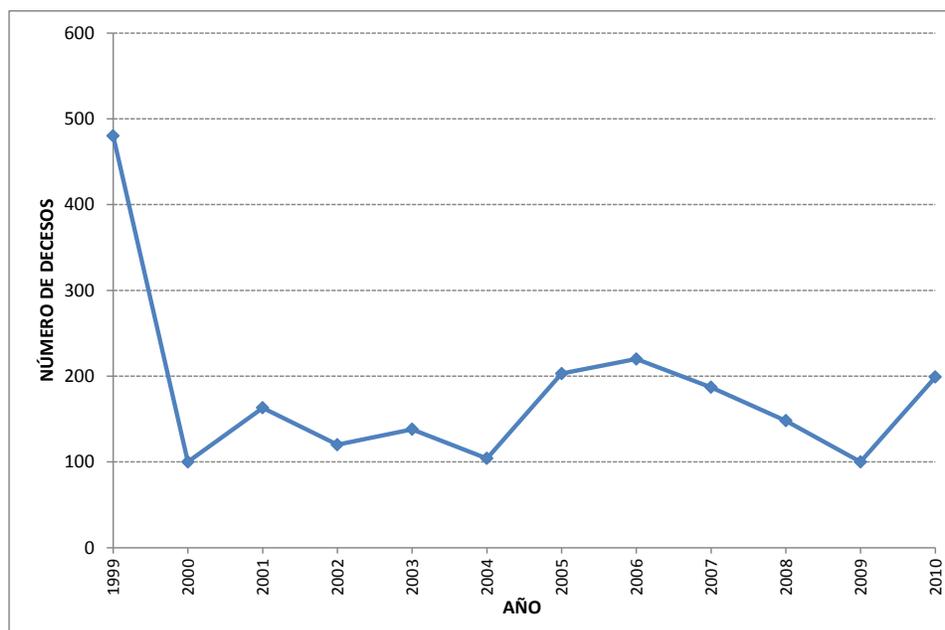
Con base en el censo de población de 2010 (INEGI, 2011), el 10.4 % de la población del país es afectada año tras año en 89 municipios costeros, de 11 estados del Pacífico, susceptibles al impacto de los ciclones tropicales en cualquiera de sus categorías, esto se debe a un continuo crecimiento de la población e infraestructura, es decir, hay más personas expuestas a amenazas de origen natural, aunado a un aparente incremento en los peligros, principalmente en los de origen hidrometeorológico, que incluyen lluvias intensas, inundaciones, sequías y vientos fuertes que se incrementaron en la última década.

Así pues, los riesgos a los que está expuesta la población han cambiado no sólo por un aumento en la vulnerabilidad, sino también por cambios de origen natural y antropogénico, como las alteraciones en el uso del suelo, principalmente en las costas y sierras del país, procesos observados en las últimas dos décadas, derivados del desarrollo urbano, el sobrepastoreo y los nuevos tipos de producción agrícola en las laderas de las montañas y en las llanuras costeras, por ejemplo, en algunos lugares cercanos a la costa la población se encuentra desprotegida del impacto de los ciclones, porque ha habido un crecimiento de los centros turísticos a expensas de los manglares que forman barreras naturales ante el oleaje y el viento (Padilla, *et al.*, 2009).

A pesar de esto, los ciclones del Pacífico nororiental constituyen uno de los principales productores de humedad, porque generan lluvias importantes en la región. No obstante, las precipitaciones intensas; en ocasiones, también pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas y daños económicos considerables.

En los últimos años se observa una disminución de las pérdidas humanas causadas por los fenómenos hidrometeorológicos que incluyen lluvias, inundaciones, ciclones tropicales, bajas temperaturas, tormentas eléctricas y sequías, donde el promedio anual de 1999 al 2010 es de 180 decesos (Figura 1). Destaca 1999 porque se registraron 480 decesos, causados principalmente por la presencia de lluvias torrenciales e inundaciones en Veracruz y por los deslizamientos de tierra que generó la depresión tropical no. 11 en Puebla. Cabe hacer mención que en el año 2000 es el parteaguas porque se implementa el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT), el cual es una herramienta que ayuda a disminuir los decesos, debido a que la población y las autoridades tienen tareas que realizar para cada etapa de alerta.

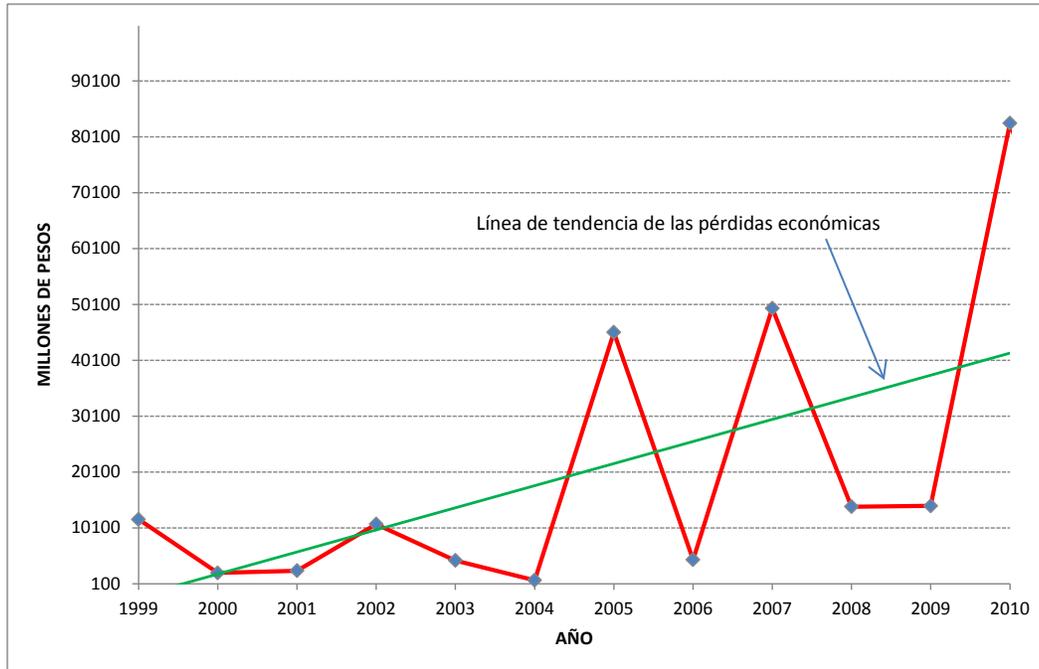
Figura 1. Distribución anual de las pérdidas humanas debidas a los fenómenos hidrometeorológicos en México durante 1999-2010



Fuente: CENAPRED, 2012

Sin embargo, las pérdidas económicas tienen un incremento al haber más exposición de bienes materiales, principalmente cerca de las zonas costeras (Figura 2).

Figura 2. Distribución anual de las pérdidas económicas debidas a los fenómenos hidrometeorológicos en México durante 1999-2010



Fuente: CENAPRED, 2012

Por lo anterior, la zona de estudio es la cuenca del Pacífico nororiental, debido a que carece de una buena climatología y un adecuado sistema de vigilancia, por ejemplo, fue hasta 2010 cuando el Centro Nacional de Huracanes de Miami, envía aviones de reconocimiento para monitorear a los meteoros de esa región. A pesar de que los fenómenos causan daños severos.

El objetivo general de la investigación es:

- Evaluar el riesgo de la precipitación generada por los ciclones tropicales del Pacífico nororiental, con base en la vivienda y en las condiciones sociales de la población.

Los objetivos particulares son:

- Determinar el marco teórico y conceptual de los riesgos de desastres.
- Diseñar y construir (compilar) una base de datos de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental para determinar la frecuencia de los mismos.
- Reconocer que la mayor precipitación está asociada a los ciclones tropicales del Pacífico nororiental.

- Identificar la vulnerabilidad física (vivienda) y social de la población que está expuesta a la lluvia de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental.

En este trabajo se hace una evaluación de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental, particularmente aquéllos que provocan humedad considerable sobre el territorio del país. En primer lugar se determina en el capítulo 1 el marco teórico de los riesgos de desastres. En el capítulo 2, se estima la probabilidad de ocurrencia de los ciclones de cualquier categoría en las costas del Pacífico nororiental. En tanto que, en el capítulo 3, se reconoce la importancia de la cantidad de precipitación que aportan estos meteoros en el territorio, debido a que en México, la mayor parte de las actividades agrícolas son cultivos de temporal, por lo que la cercanía e impacto de los ciclones ayuda a recuperar el nivel de las presas de los principales distritos de riego del noroeste del país.

Por otra parte, en el capítulo 4 se estima la vulnerabilidad de la vivienda que es susceptible a ser afectada por las lluvias intensas de los ciclones, y se determina la vulnerabilidad social de la población que habita en las zonas costeras con ayuda del índice propuesto definido como vulnerabilidad de la vivienda precaria ante las lluvias de los ciclones, el cual utiliza como variable principal el material débil de las edificaciones, con base en los datos del último Censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2011) e incorpora el índice de marginación del Consejo Nacional de Población de 2010. Finalmente, en el capítulo 5, se evalúa el riesgo que representa la precipitación ciclónica con ayuda de la estimación del índice de peligro de la lluvia de los ciclones y el producto del índice de vulnerabilidad sugerido en la investigación.

Por último, se incluye la discusión de los resultados, así como futuras líneas de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENAPRED, 2012. *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010*. Serie de Impacto socioeconómico de los principales desastres, No. 12, Centro Nacional de Prevención de Desastres, pp. 19-29.

INEGI, 2011. Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx>. Última consulta 6 marzo de 2012.

Padilla, S., Juárez M., Propín E. y C. Galindo. 2009. *Población y economía en el territorio costero de México*. Temas selectos de Geografía de México, Textos monográficos, Costas y Mares. Instituto de Geografía, UNAM, pp. 125.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LOS RIESGOS

Los estudios de riesgos de desastres asociados a amenazas naturales han sido tratados por científicos sociales desde hace más de un siglo, éstos han formulado enfoques, metodologías y recomendado herramientas para aproximarse al tema. A finales de la década de 1990 se observó que la génesis de los estudios de riesgos y desastres estaba vinculada con las actividades humanas, donde se utilizaron modelos alternativos para el estudio del riesgo, los cuales tienen como eje principal el análisis de la vulnerabilidad.

1.1 INTRODUCCIÓN

En la antigüedad la palabra riesgo se utilizaba para referirse a los costos que debían ser adquiridos por el flete de mercancías en la navegación marítima, fluvial o transporte en general. El riesgo no solo se encuentra vinculado a la racionalidad sino también al principio de ganancia basado en la contingencia. El riesgo sugiere una alta eventualidad que le otorga al individuo la posibilidad de evitar el daño de su elección (Luhmann, 2006).

Durante la Edad Media el riesgo tenía una connotación de coraje y aventura, no la de posible autodestrucción de la vida en la Tierra.

En los siglos XVII y XVIII, el trabajo teórico sobre el riesgo se ocupaba de las matemáticas del juego, por lo que se centró principalmente en la estructura de las probabilidades como un todo. En el siglo XIX, el riesgo cambió del juego, de la apuesta, a los riesgos de la empresa económica y principalmente a las probabilidades de pérdida (Douglas, 1996). Los argumentos tradicionales han girado sobre la relación entre las probabilidades y valores calculados de forma objetiva o matemática en comparación con las estimaciones subjetivas del agente racional.

Los trabajos pioneros sobre el riesgo fueron realizados por Jonh von Neumann¹ y Oskar Morgenstern² con su estudio de la Teoría del juego (1944), con base en el análisis sobre los comportamientos estratégicos de los jugadores y no sobre el azar o los elementos aleatorios. También se reincorpora el análisis de decisión que se aplicó a cuestiones prácticas de estrategia militar. Por otra parte, se realizaron algunos esfuerzos por dedicar estos métodos a los riesgos de la tecnología industrial. Una gran parte del estudio del riesgo está relacionada con el intento de convertir las incertidumbres en probabilidades.

Una situación peligrosa es la que está gobernada por probabilidades conocidas. Si se desconoce éstas se trata de incertidumbres. El juego es la acción más obvia de asumir un riesgo. El que corre un riesgo prefiere una mínima probabilidad de ganancia y la gran posibilidad de una pérdida insignificante a unos ingresos seguros. El que reconoce el riesgo compra seguridad; ello significa preferir una pequeña pérdida (prima de seguro) para prevenir la mínima posibilidad de una pérdida mayor. El seguro reduce las variantes de probabilidades futuras.

Por otra parte, el Diccionario de la lengua española de la Real Academia Española, define el riesgo como contingencia o proximidad de un daño y como cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro.

El riesgo es un concepto complejo y está siempre relacionado con el azar, con posibilidades, con algo que aún no ha sucedido (Cardona, 2001). Las teorías y métodos asociados con la epistemología del riesgo son principalmente tecnocientíficos, estadísticos y financieros.

¹ Nació en Budapest, en el Imperio Austrohúngaro en 1903 y murió en Washington, D.C. en 1957, fue uno de los grandes matemáticos del siglo XX.

² Nació en Gorlitz, Alemania en 1902 y murió en New Jersey, USA en 1977.

1.2 PRINCIPALES ENFOQUES PARA ABORDAR LOS ESTUDIOS DE RIESGOS DE DESASTRES

1.2.1 Enfoque dominante: Determinismo físico

La visión de las ciencias exactas dedicadas al estudio de los fenómenos naturales destructivos ha constituido una constante, debido al desarrollo de nuevas perspectivas; sin embargo, continúan centrándose en la comprensión de los fenómenos naturales y en las medidas para mitigar sus efectos.

La mayoría de los peligros naturales y tecnológicos no están articulados como los problemas sociales hasta que suceden. Los desastres se ven como eventos naturales (Hewitt, 1983). Los riesgos de desastres desde el punto de vista tecnocrático serán gestionados por la aplicación de la ciencia y la tecnología, mediante sistemas de alerta o los métodos de construcción para controlar los peligros del medio ambiente físico.

Burton y Kates (1964) definieron el riesgo natural como el conjunto de elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas a él (Saurí, 1988). En 1970, Russell, Kates y Arey elaboraron un estudio, donde se analizaban soluciones óptimas en el tratamiento del riesgo de la sequía en relación con el suministro municipal de agua.

García-Acosta (1995) divide este enfoque en dos líneas: la científica y la tecnológica, ambas parten de un determinismo físico, considerando que los desastres se derivan de fenómenos naturales peligrosos. Por ejemplo, las investigaciones científicas se centran en el estudio de los fenómenos, en su evolución, predicción, monitoreo y medición como lo hacen los climatólogos. Por su parte, los tecnólogos diseñan y construyen sistemas como obras de infraestructura (edificios, puentes, carreteras, obras hidráulicas, entre otros). Mientras que para resolver las necesidades de la sociedad proponen normas y reglamentos de construcción que es una tarea primordial de ingenieros.

1.2.2 Enfoque histórico

La herramienta más útil para comprender las complejas relaciones entre una población, las formas y los medios de producción, es el análisis histórico. Es la única manera de ubicar condiciones vulnerables específicas en un proceso de cambio social (Maskrey, 1989).

Braudel (1994) incorpora una visión sobre el uso del análisis geográfico para ciertas investigaciones históricas, en especial aquéllas que tomaron en cuenta largos periodos. Estos dos elementos, la importancia del medio geográfico y el problema de las duraciones en la historia, constituyen la base del enfoque geohistórico.

Entonces, el enfoque Braudeliano brinda elementos para comprender los fenómenos desastrosos desde las diversas duraciones: el acontecimiento breve, esporádico y habitual, como los incendios forestales, las inundaciones y los ciclones tropicales; los hechos que comprenden largos periodos como pandemias y el incremento de la vulnerabilidad social en el presente siglo. No obstante, los fenómenos como las sequías prolongadas, la deforestación y la desertificación de los últimos siglos también acentuarán la vulnerabilidad de las sociedades actuales.

El enfoque geohistórico implica abordar el estudio de la geografía y la historia desde una postura interdisciplinaria, como una combinación teórica, que asuma el estudio de la realidad desde la perspectiva diacrónica³, vinculada con la realidad local y con las necesidades e intereses de los grupos sociales (Sagayo y León, 2000).

Por otra parte, la Antropología ha propuesto métodos bajo una corriente histórica, donde involucra a otras disciplinas con la idea central de, nunca negar la presencia del pasado en el presente.

³ Relativo a los fenómenos que ocurren a lo largo del tiempo.

El enfoque ecohistórico proporciona herramientas teórico-conceptuales, basadas en los cambios que ha sufrido el medio ambiente a través del tiempo, por la acción de la naturaleza y por la intervención irracional o inconsciente de los hombres, que la han llevado a su deterioro y, por lo tanto, a profundizar los efectos de los fenómenos naturales.

Por mencionar un caso, Konrad (1996) reconoce al huracán como un elemento central en la cosmovisión y en el paradigma ecológico prehispánico, afirmó que los efectos ecológicos causados por estos fenómenos se comparaban a los de la agricultura de tumba, roza y quema e, incluso a los ciclos de sucesión natural, que son más lentos y predecibles. Sugiere una continuación de las medidas tomadas por los mayas para minimizar los impactos adversos de los huracanes que constituyeron una parte integral de las estrategias ecológicas básicas. Entre ellas, menciona las casas con paredes y techos redondeados y los templos y edificios de la elite construidos a base de piedra y mampostería.

1.2.3 Enfoque estructural- funcionalista

A partir de los años setenta se realizaron esfuerzos sistemáticos dirigidos hacia la construcción de teorías y conceptos sociales. De tal manera que, el fenómeno natural seguía siendo el agente activo, el interés era conocer y estudiar la respuesta de la sociedad, donde surgieron investigaciones relacionadas a los desastres y el análisis organizacional.

Este enfoque reconoce que la estructura social es un conjunto, en el cual la alteración de cualquiera de las partes interviene sobre las demás y sobre el todo.

Los estudios estructuralistas se caracterizaron por ser esencialmente descriptivos y clasificatorios. En tanto que, puede ser un desastre nacional o internacional en un país pequeño con una economía frágil, puede no constituir un desastre local en un nación rica con organizaciones asistenciales propias y muy desarrolladas (García-Acosta, 1995). Por ejemplo, el terremoto de Haití de 2010, arrasó con 220,000 vidas y pérdidas económicas por 10 billones de

dólares, el cual fue considerado como un desastre internacional, porque afectó al país más pobre de América. Por otra parte, el tsunami de Chile costó 8,000 millones de dólares en daños asegurados y cobró la vida de 488 personas, durante el mismo año (Swiss Re, 2011).

Entre los principales precursores de este enfoque se encuentra Gilbert White⁴ que en su trabajo sobre las inundaciones en Estados Unidos, fundamenta que las amenazas y los desastres son producto de relaciones inadecuadas de convivencia entre la sociedad y su ambiente. Por lo tanto, son problemas ambientales; sin embargo, éstos se ven como productos de la relación dinámica entre la sociedad y su entorno (Saurí, 2006).

La metodología propuesta por White para caracterizar las inundaciones toma en cuenta cuatro elementos fundamentales: 1) la amenaza, es decir, la inundación, 2) las características ambientales de las llanuras susceptibles a inundación, 3) el asentamiento humano sobre las llanuras inundables y la 4) adaptación de los asentamientos ante la amenaza de inundación. En tanto que el potamólogo francés Maurice Pardé trabajó sobre la importancia de las crecidas fluviales en diversas partes del mundo (1961) que constituye el mejor estudio de la época sobre el problema de las inundaciones, realizado con enfoque regional y con una documentación pluviométrica e hidrológica inusual (Ayala-Carcedo, 2002a).

Por otro lado, serían las investigaciones de White, Burton y Kates, donde por primera vez se utilizó el concepto del riesgo y que otorgaron un enfoque global al tratamiento de los eventos excepcionales de la naturaleza (geofísico y astronómico). Dichos autores definieron al riesgo natural como el conjunto de elementos del medio físico y biológico nocivos para el hombre y causados por fuerzas ajenas a él. En tanto que, desde el campo de la economía Renshaw y Krutilla trataron las pérdidas y daños (Calvo, 1984).

⁴ Nació en Chicago, USA, en 1911 y murió en 2006 en Boulder Colorado, prominente geógrafo, conocido por su trabajo de peligros naturales, particularmente inundaciones y por la gestión racional del agua en la sociedad contemporánea.

Mientras que, Quarantelli⁵ (1996) menciona que los procesos de industrialización y urbanización son los principales factores para el crecimiento de los riesgos y vulnerabilidades de las sociedades en desarrollo.

1.2.4 Enfoque alternativo

Surge en la década de los setenta y ochenta, derivado de marcos teóricos y metodológicos de la economía política, consta de tres aspectos principales (García- Acosta, 2005):

- a) Resistencia contra el enfoque estructural-funcionalista, el cual era incapaz de explicar por qué y cómo cambian las sociedades.
- b) Elaboración de estudios de caso, especialmente en América Latina.
- c) La necesidad de comprender a los desastres no como un producto de una relación causa- efecto, sino como procesos construidos socialmente.

En esta perspectiva se encuentra Kenneth Hewitt⁶ (1983) que en su trabajo *Interpretations of calamity*, describe la visión naturalista o física de los desastres y el tipo de acciones tecnocráticas que suelen derivarse para enfrentarlos e, introduce el enfoque de vulnerabilidad en las investigaciones de desastres, su principal aportación es el desarrollo de las teorías sobre riesgos de desastre, así como la creación de nuevos conceptos, entre ellos destaca la amenaza crónica, que se refiere a la recurrencia de fenómenos naturales que constituyen amenazas al encontrarse poblaciones vulnerables y se presentan en un ecosistema de manera temporal o frecuente, mismo que sería el hilo conductor de su siguiente obra *Regions of risk* (1997), donde menciona que es necesario analizar el contexto del desastre e incorporar las variables socioeconómicas de los grupos, y reconoce que las amenazas naturales o antrópicas no constituyen el único agente activo del desastre. Finalmente, señala que el riesgo es más importante que el evento.

⁵ Enrico Quarantelli, sociólogo e investigador en el Centro de Investigación de Desastres de la Universidad de Delaware.

⁶ Nació en Canadá en 1937 y es uno de los geógrafos más destacados en el tema de desastres y riesgos.

El enfoque que en su momento fue denominado alternativo retoma la vulnerabilidad social como componente activo del riesgo, el cual surge y se desarrolla en América Latina a partir de los años setenta.

Algunos exponentes destacados son: Mary Douglas⁷ que en su trabajo *Risk and culture* (1982) analiza la forma en que construimos determinadas categorías culturales a partir de ciertas posiciones sociales. Las nociones de riesgo no están basadas en razones prácticas o en juicios empíricos. Son construidas culturalmente y enfatizan algunos aspectos del peligro e ignoran otros. Así pues, se crea una cultura del riesgo que varía según la posición social de la población, donde cada organización social está dispuesta a aceptar o evitar determinados riesgos, valores comunes conducen a miedos comunes. En su obra *La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales* publicada en 1996, introduce la perspectiva cultural, donde es posible volver a situar el análisis del riesgo en el mundo real en que vivimos.

Frederick C. Cuny⁸ (1983) en su trabajo *Disasters and development*, desarrolla una serie de argumentos exhaustivos sobre la manera en que los desastres podrían abrir una opción para el desarrollo, en la medida en que la reconstrucción incorpora la prevención y mitigación de riesgos. Por lo tanto, el proceso fomenta la promoción de las capacidades y participación de la población.

Julian Bommer⁹ (1985) contribuyó con importantes conocimientos sobre el desarrollo urbano y la amenaza sísmica, incorporó nociones sobre la vulnerabilidad estructural y humana.

Wilches-Chaux¹⁰ (1989) incorporó el término de vulnerabilidad global y desarrolló una clasificación a partir de 10 niveles o componentes de la vulnerabilidad humana, que determinan

⁷ Nació en San Remo, Italia en 1921 y murió en Londres en 2007, antropóloga británica.

⁸ Nació en 1944 en Connecticut, U.S.A., Ingeniero civil y planificador urbano, especialista en la reconstrucción posdesastre.

⁹ Ingeniero civil inglés del Imperial College, Universidad de Londres.

¹⁰ Nació en Popayán, Departamento de Cauca, Colombia en 1954, abogado ambientalista y experto en prevención de desastres.

un nivel particular de vulnerabilidad frente a las amenazas ambientales. También infiere argumentos vinculados con los factores del riesgo, su construcción social, la participación de la comunidad, el rol de los gobiernos locales en la gestión, las transiciones de la vulnerabilidad a la sostenibilidad y la gestión local del riesgo como opción de intervención exitosa.

Andrew Maskrey¹¹ (1993) incorpora las primeras consideraciones desarrolladas en torno a la gestión local de riesgos, donde la población puede reforzar y profundizar su nivel organizativo y desarrollar tecnologías y técnicas apropiadas para su implementación.

Junto con Piers Blaikie¹², Ben Wisner, Terry Canon e Ian Davis, colaboraron en el libro *Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres* (1994), donde sus principales aportaciones fueron los modelos de presión y liberación (pressure and release), destacan las relaciones entre procesos económicos, sociales, políticos, globales (causas de fondo), procesos concretos de transformación social, territorial y ambiental; por ejemplo, la urbanización, la degradación ambiental, el crecimiento demográfico y la creación de condiciones inseguras específicas, que detonan contextos particulares de vulnerabilidad. El modelo de acceso, ofrece una visión micro, explicando la vulnerabilidad de las unidades familiares en términos del grado de acceso que tienen a diversos recursos necesarios para su propio desarrollo.

Jesús Manuel Macías¹³ (1994) menciona que el riesgo-desastre más que avocarse al estudio de un fenómeno concreto, debe ser la investigación del proceso de transformación de fenómenos, donde el riesgo tiene que ver con la acción prevención-preparación-mitigación, y con el grado de conocimiento de la sociedad ante el desastre en términos de la susceptibilidad de recibir daños o pérdidas en la medida de su vulnerabilidad.

¹¹ Inglés, urbanista y planificador.

¹² Piers Blaikie, geógrafo que nació el 29 de enero de 1942, en Helensburgh, Escocia.

¹³ Nació en 1956 en la Ciudad de México, es especialista en temas de desastre y riesgos en el CIESAS desde 1985.

Diana Liverman¹⁴ (1996) comenta que el impacto del clima sobre los hombres depende mucho más de las características y condiciones sociales, como la pobreza.

Georgina Calderón¹⁵ (2001) explica que las poblaciones se encuentran en riesgo porque ha existido históricamente una producción de espacios, en los cuales se han generado riesgos particulares, y éstos son determinados por las condiciones socioeconómicas de la sociedad que los ha creado.

Omar Cardona¹⁶ (1999) incluye un enfoque conceptual y metodológico que permitió hacer reflexiones sobre la relevancia de la vulnerabilidad, y la diferencia entre los conceptos de peligro y riesgo, que hasta entonces se utilizaban como sinónimos, sus aportaciones involucran una visión integral y multidisciplinaria que permita separar el riesgo en sus componentes de diferente índole.

Allan Lavell¹⁷ (2000) indica que el riesgo es inherente a la vida en el planeta y se conforma con la interacción en un tiempo y territorio específicos de dos factores: las amenazas y las vulnerabilidades sociales. En su trabajo de Gestión local del riesgo (2004) recupera una visión integral u holística del riesgo, y fundamenta a éste como construcción social dinámica y cambiante, la gestión como un proceso y no producto, la participación social como factor obligatorio, la relación inevitable que se establece entre gestión del riesgo, desarrollo, medio ambiente y la transversalidad de la intervención con esquemas intersectoriales e inter-territoriales.

¹⁴ Geógrafa y especialista en los impactos del clima en la sociedad, principalmente en la vulnerabilidad del sector agrícola.

¹⁵ Geógrafa mexicana que ha impartido clases en la UNAM desde 1974.

¹⁶ Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia en Manizales

¹⁷ Británico, Doctor en Geografía Económica y fundador de LA RED (Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina) y especialista en desarrollo urbano y regional.

Susan Cutter¹⁸ (2001) ayuda a entender los cambios de los peligros naturales y la estimación de éstos con ayuda de la innovación tecnológica, para reducir la vulnerabilidad local de los peligros y mejorar la mitigación. Indica la dimensión geográfica de los peligros, es decir, dónde ocurren y por qué se presentan éstos, y los sitios que pueden ser más vulnerables. Integra la vulnerabilidad biofísica y social dentro de un contexto de espacio geográfico específico. Por otra parte, Cutter *et al.*, (2003) construyeron un modelo de vulnerabilidad para examinar los componentes de la vulnerabilidad social, donde el riesgo interactúa con la mitigación para producir el peligro potencial.

Elizabeth Mansilla¹⁹ (2000) explica en términos teórico-conceptuales, la base material del riesgo o los factores que dan lugar a su construcción, además establece la relación directa entre transformación del medio físico natural y la creación del riesgo en el ámbito urbano.

Ulrich Beck²⁰ en su trabajo sobre la *Sociedad del riesgo* (2006) propone un modelo para comprender el estado de riesgo continuo que parecen vivir las sociedades modernas capitalistas. Menciona que, la producción social de la riqueza va acompañada por la producción social de riesgos, a mayor desarrollo económico mayor probabilidad de experimentar riesgos. Los procesos de modernización tarde o temprano comienzan a adaptarse a situaciones y conflictos sociales de una sociedad repartidora de riqueza con las de una sociedad repartidora de riesgos.

Nicholas Luhmann²¹ (2006) señala en una de sus contribuciones sobre el estudio del riesgo, crear un puente entre pasado, presente y futuro a la vez que permite comprender como una amenaza se transforma en riesgo. Establece que el individuo se comporta como lo esperan los grupos sociales de referencia y busca cómo se socializa el riesgo y concluye que éste es

¹⁸ Geógrafa estadounidense, especialista en temas de riesgo y desastre.

¹⁹ Nació en la Ciudad de México en 1963, Economista y urbanista, su línea de investigación es sobre vulnerabilidad y riesgos de desastre.

²⁰ Nació en 1944, sociólogo alemán.

²¹ Nació en Luneburg, Baja Sajonia, en 1927 y murió en 1998, sociólogo alemán.

producto de una elección, donde intervienen el individuo y su conjunto social para hacer frente a las consecuencias de las elecciones.

Robert Castel²² (2006), plantea una hipótesis sobre la inseguridad moderna que es una obsesiva manía vinculada a la búsqueda incesante de seguridad en un mundo social interrelacionado, donde estar protegido implica estar amenazado. A medida que la sociedad alcanza nuevas metas en la materia, otras surgen y originan riesgos que no habían sido tomados en cuenta, y adquieren un rechazo colectivo al riesgo. La tesis principal de Castel establece que en la sociedad surge un nuevo problema con respecto a la inseguridad, donde las sociedades modernas viven una especie de inflación del riesgo, en la que no existe una solución radical que evite el factor ansiedad, a la vez que aumenta la demanda de producción disminuye la posibilidad de estar protegido.

Jorge Olcina y Francisco Ayala (2002) indican que el riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario, y mencionan que existen tres enfoques para definir el riesgo y son el natural, el social y el territorial; en otras palabras, el riesgo es una infracción que el hombre comete sobre el territorio, debido a la creación inadecuada de actividades o asentamientos.

Wisner²³ *et al.*, (2004), profundizan en el desarrollo de los modelos interpretativos de la vulnerabilidad, el aspecto más importante es brindar a dicho concepto una precisión conceptual y práctica, la cual se perdió con el paso del tiempo, debido a un uso indiscriminado y generalizado en el tema de los desastres, en constante auge y diversificación. Mientras que, Terry Cannon²⁴ insiste en que la vulnerabilidad está definida con base en la condición de seres humanos y sus medios de vida, individuales o colectivos. Esta vulnerabilidad física y de los

²² Nació en Brest, Francia en 1933, sociólogo que realiza importantes contribuciones a las nuevas formas de vulnerabilidad.

²³ Nació en Estados Unidos en 1944, Filósofo de profesión y doctor en Geografía, experto en reducción de desastres.

²⁴ Geógrafo Británico, especialista en temas de desastre, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático a nivel comunidad.

medios de vida se explica por la incidencia de distintos factores, componentes o procesos de construcción de la vulnerabilidad.

Juan Rodríguez²⁵ (2006) en su trabajo *La conformación de los desastres naturales construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B.C.*, utiliza un enfoque objetivo, con una perspectiva histórica, geográfica y antropológica, y aborda una configuración material del riesgo, donde los procesos socioeconómicos, políticos, geográficos son los que conforman los escenarios de riesgo ante el fenómeno de las lluvias intensas en un sitio dado.

1.2.5 Enfoque estadístico

Muchas partes de las matemáticas tienen aplicación en el campo de los riesgos, de la geometría al cálculo infinitesimal. Para ello, es necesario advertir que siempre que se trate del azar y la probabilidad, se busca en el análisis la regularidad estadística. Se tiene presente que *la estadística solamente sugiere relaciones causales*; por ejemplo, al hacer un análisis multivariante, se hacen comprobaciones para demostrar en el terreno físico y sólo en él.

Para el análisis de riesgo en estadística lo que interesa no son los fenómenos normales; es decir, los más frecuentes, sino las *colas* de la distribución estadística global con probabilidades bajas, los valores extremos son máximos; por ejemplo, precipitación anual que puede dar una idea del comportamiento de las sequías.

Entonces conocida la serie de valores extremos, a menudo anuales, puede ajustarse una de las funciones de distribución y extrapolar con límites para determinar los valores esperados con determinado periodo de retorno, este último se utiliza para establecer áreas y grados de riesgo normalmente para el diseño. Se entiende por periodo de retorno el número promedio de años que deben transcurrir para igualar o superar un evento (Ayala-Carcedo, 2002b).

²⁵ Geógrafo y antropólogo social mexicano, especialista en Geografía del Riesgo y antropología de los desastres.

1.2.6 Enfoque financiero

El enfoque de las compañías de seguros respecto a comprar riesgos, entendido como pérdida factible y el análisis de la probabilidad de fallo o de accidente en sistemas mecánicos e industriales, consolidó un nuevo paradigma relacionado con el análisis del riesgo, seguridad y confiabilidad de sistemas (Cardona, 2001). En ese momento se le dio atención especial a las propiedades físicas del sistema que podrían sufrir daño por la acción de un fenómeno externo.

El uso financiero en el control de los riesgos, las ganancias o pérdidas de eficiencia asignativa en materia de reservas de capital que pueden obtenerse casi inmediatamente como consecuencia de disponer de un modelo matemático más preciso para el ajuste de los riesgos de inversión. Así pues, surge el riesgo de modelo definido como aquel tipo de riesgo financiero que resulta de la especificación inapropiada de un modelo teórico o del uso de un modelo apropiado en un marco inadecuado o para un propósito equivocado, con la finalidad de velar por la correcta adecuación entre los riesgos de inversión y reservas de capital en los mercados (Izquierdo, 2000).

En tanto que, Ordaz (1996) señala que el riesgo es el valor esperado de las pérdidas y que se debe expresar como riesgo anual y el valor presente del riesgo total. Además, el riesgo puede y debe ser considerado como un costo instalado de los proyectos. Por otra parte, Reynoso *et. Al.*, (2012) proponen un método para la estimación de pérdidas y evaluación del riesgo de huracanes en México, donde utilizan tres procesos: a) caracterización de la amenaza, es decir, del fenómeno natural, b) cuantificación de los bienes y personas expuestos a la acción del huracán y c) vulnerabilidad de las construcciones, definida en términos de relaciones intensidad-daño para cada elemento expuesto.

Finalmente, la compañía Munich Re Insurance, líder mundial, junto a la Swiss Re, en el aseguramiento contra el riesgo de catástrofes naturales, evaluó que en los últimos 20 años los desastres de origen natural habían costado la vida de 3 millones de personas (World Bank, 2010).

1.2.7 Contribuciones de algunos autores

En la Tabla 1.1 se muestran los principales aportes de los autores antes mencionados para los diferentes enfoques y corrientes.

Tabla 1.1. Contribuciones de algunos teóricos de los riesgos

| Autor | Profesión | Enfoque | Año | Principal contribución |
|------------------------|-------------------------|-----------------|------|--|
| Anthony Giddens | Sociólogo | Alternativo | 1994 | Riesgo problema de la sociedad moderna |
| Piers Blaikie | Geógrafo | Alternativo | 1994 | Introducción a los conceptos de vulnerabilidad y riesgo |
| Hewitt Kenneth | Geógrafo | Alternativo | 1983 | Enfoque de vulnerabilidad en los estudios de riesgos y desastres |
| Mary Douglas | Antropóloga | Alternativo | 1996 | Riesgo valor común |
| Georgina Calderón | Geógrafa | Alternativo | 1999 | Construcción social de riesgo |
| Nicolas Ludmann | Sociólogo | Alternativo | 2006 | El riesgo es consecuencia de una decisión racional |
| Urich Beck | Sociólogo | Alternativo | 2006 | Riqueza es igual a la producción de riesgos. |
| Keith Smith | Geógrafo | Alternativo | 2002 | El riesgo de desastre se incrementa a través del tiempo y manejo del riesgo. |
| Susan Cutter | Geógrafa | Alternativo | 2001 | Transferencia de riesgos |
| Ben Wisner | | Alternativo | 2004 | Modelos interpretativos de la vulnerabilidad. |
| Roberto Castel | Sociólogo | Alternativo | 2004 | La inseguridad social |
| Jesús Manuel Macías | Geógrafo | Alternativo | 1994 | El riesgo debe incluir prevención y mitigación |
| Virginia García Acosta | Antropóloga | Alternativo | 1995 | Desastres construidos socialmente |
| Alan Lavell | Geógrafo | Alternativo | 2000 | Gestión local del riesgo |
| Elizabeth Mansilla | Economista | Alternativo | 1996 | Riesgo en el ámbito urbano |
| Gustavo Wilches-Chaux | Abogado | Alternativo | 1989 | Dimensiones de la vulnerabilidad y vulnerabilidad global. |
| Omar Cardona | Ingeniero Civil | Alternativo | 1999 | Visión integral y multidisciplinaria |
| Mario Ordaz | Ingeniero Civil | Actuarial | 1996 | Escenarios y cuantificación del riesgo como pérdidas esperadas |
| Fernand Braudel | Historiador | Histórico | 1994 | Enfoque geo-histórico e importancia del medio geográfico. |
| Raymond Firth | Etnólogo-Economista | Antropológico | 1959 | Modernización de los sistemas económicos y los sistemas sociales. La religión es una de las grandes fuerzas motoras en la actividad humana, tanto en lo individual como en lo social |
| Roger Martin Keesing | Lingüista y Antropólogo | Antropológico | 1952 | Visión evolucionista, cultura como parte del sistema social y por lo tanto, como función adaptativa. |
| William Torry | Antropólogo | Antropológico | 1978 | Enfoque evolucionista, cambio, adaptación e integración social. |
| Diana Livermann | Geógrafa | Alternativo | 1996 | Los procesos del desarrollo como factor de vulnerabilidad |
| Herman Konrad | Antropólogo | Histórico | 1996 | Estrategias ecológicas para reducir los efectos de los huracanes |
| Andrew Maskrey | Urbanista | Alternativo | 1989 | Gestión local de riesgos |
| Enrico Quarantelli | Sociólogo | Estructuralista | 1996 | Los procesos de industrialización y urbanización incrementan los riesgos |
| Russell Dynes | Sociólogo | Estructuralista | 1989 | Respuesta social y organizacional de los desastres |
| Gilbert White | Geógrafo | Estructuralista | 1942 | Las amenazas y los desastres son producto de la convivencia inadecuada entre sociedad y medio ambiente. |

Fuente: Elaboración propia

De los autores mencionados anteriormente destacan aquéllos que tienen un enfoque alternativo y poseen la profesión de geógrafos. Esto no quiere decir, que son los expertos en el tema de riesgo, pero sí son los que tienen una formación integral. No obstante, es necesaria una visión multidisciplinaria para generar un mejor análisis del riesgo, por ejemplo, los ingenieros aportan sus conocimientos matemáticos para comprender mejor la amenaza. Por otra parte, los antropólogos, historiadores, geógrafos y sociólogos tienen la capacidad de entender mejor las variables de la vulnerabilidad y juntos estimar y cuantificar el riesgo.

1.3 EVOLUCIÓN DE CONCEPTOS

La importancia de los conceptos en los estudios de riesgos surge por la necesidad de aclarar los términos utilizados, con el propósito de evitar confusiones y para que la población utilice un lenguaje común entre sus integrantes e instituciones, así como actuar eficientemente de acuerdo al fenómeno natural que podría provocar un riesgo de desastre. Además de ejecutar las acciones necesarias de prevención.

En la comunidad científica algunos conceptos todavía son intercambiables aunque hay diferencias en su significado; por ejemplo, en las ciencias naturales el término riesgo es sinónimo de amenaza (riesgos geológicos, meteorológicos, químicos, etc.). Asimismo, en el lenguaje médico, se utiliza al riesgo como sinónimo de vulnerabilidad, para definir factores como la mala nutrición y el agua contaminada, la cual puede acelerar una epidemia (Maskrey, 1998).

Hoy en día en la Administración Pública Federal de México ocurre esta situación, por ejemplo, los atlas de riesgos de los diferentes niveles de gobierno sólo son una descripción del fenómeno natural, sin embargo, falta integrar los componentes del riesgo como es la vulnerabilidad y los bienes expuestos.

1.4 MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo mismo del hombre ha llevado a conceptualizar de manera apropiada elementos vinculados a su hábitat, medio ambiente y las posibilidades de interacción entre ellos. En un principio se ha tenido una percepción confusa de los términos amenaza, peligro, vulnerabilidad, riesgo y desastre, para ello en esta investigación se utilizarán los siguientes conceptos.

Amenaza se refiere a la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico que aparece en un tiempo y espacio determinado, que se anticipa y puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios. Las amenazas actúan como detonadores en el sentido de conducir a cambios sociales y culturales relevantes, lo anterior aplica a las amenazas relacionadas con la variabilidad climática.

Vulnerabilidad es la capacidad de la población de absorber, responder y recuperarse del impacto, en caso de que ocurra un fenómeno de origen natural o causado por el hombre. La vulnerabilidad integra las condiciones políticas, sociales y económicas de la comunidad. Las diferencias de vulnerabilidad dentro del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos.

Por otra parte, Wilches-Chaux (1989) y Cardona (2003) proponen una clasificación de la vulnerabilidad en términos de diez componentes, entre ellos destacan la física, la económica, la social, la política, la técnica, la ideológica, la cultural, la educativa, la ecológica y la institucional.

La *vulnerabilidad física* está relacionada con el grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos para soportar la acción de los fenómenos, para este estudio se utiliza a la vivienda como el elemento susceptible a sufrir daños ante las precipitaciones de los ciclones tropicales en una zona determinada.

La *vulnerabilidad social* es una condición que se inicia, acumula y permanece en forma continua en el tiempo y está íntimamente ligada a los aspectos culturales, y al nivel de desarrollo de las comunidades.

El *Riesgo* alude a las condiciones del entorno físico y socio-económico, es decir, tanto al hecho de estar expuesto a la amenaza natural como al contexto delimitado, estas condiciones incrementan la vulnerabilidad y ponen al grupo social en posibilidad de sufrir daño por una amenaza (García-Acosta, 2006). Es el valor esperado de que se presente un nivel de consecuencias económicas y sociales adversas en un sitio particular y durante un tiempo definido que exceden niveles aceptables a tal grado que la sociedad o un componente de la sociedad afectada encuentre severamente interrumpido su funcionamiento rutinario y no puede recuperarse de forma autónoma, requiriendo de ayuda y asistencia externa.

No obstante, el riesgo puede medirse en términos cuantitativos, como víctimas o unidades monetarias, también caracterizarse en términos cualitativos, como alto o bajo, aceptable o no aceptable. Expresarse en daño o pérdida total o en términos anuales.

Por otra parte el riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario. Además siempre conlleva un componente de probabilidad (Olcina y Ayala, 2002).

El análisis de riesgo se entiende como aquella disciplina científico técnica cuyo objetivo es la identificación y análisis de factores de riesgo, natural, tecnológico, ecológico o social (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), con el propósito de evaluar el riesgo (cálculo o estimación de las pérdidas esperadas) y el diseño de medidas de mitigación del mismo.

Periodo de retorno es el número de años que han de pasar en promedio para que una determinada amenaza sea igualada o excedida.

Los desastres son procesos socio-naturales, es decir, procesos socialmente construidos que surgen de una acumulación de riesgos y vulnerabilidades, relacionados y derivados del tipo de sociedad y de la economía que se han desarrollado con el paso del tiempo. Si los desastres son cada vez más frecuentes no es porque cada día existan más amenazas de origen natural, sino porque ciertas sociedades se han vuelto más vulnerables (Lavell, 2000).

La construcción social de riesgos, hace referencia a las formas en que la sociedad construye contextos vulnerables que provocan desajustes o inadecuaciones al medio ambiente, que se convierten en una amenaza y en un generador de riesgos. Las sociedades, en su interacción con el ambiente han construido nuevos riesgos (García-Acosta, 2005)

1.5 CONCLUSIONES

Para el estudio de los riesgos se utilizan tres enfoques fundamentales el tecnocientífico, el estadístico y el financiero (seguros), donde destaca la corriente alternativa porque integra la perspectiva de la vulnerabilidad, al incorporar variables socioeconómicas de la población que forman un componente más del riesgo. Además la vulnerabilidad no sólo marca las dimensiones del desastre, sino que también se refiere a las capacidades de recuperación de los grupos sociales.

El interés por los riesgos de desastres requiere de una visión integral, para ello es necesaria la participación interdisciplinaria que juega un papel muy importante para comprender la multidimensionalidad de los desastres asociados a amenazas naturales.

La construcción social del riesgo muestra cómo las sociedades crean riesgos, a la vez que revelan cómo las sociedades perciben esos riesgos, que remite a la producción y reproducción de las condiciones de vulnerabilidad que definen y determinan la magnitud de los efectos ante la presencia de una amenaza natural, por ello es la principal responsable de los procesos de riesgos y desastres. También es importante conocer los eventos históricos, debido a que éstos muestran lo que ocurrió y lo que podría suceder en un futuro.

Finalmente es necesario recuperar prácticas, tradiciones, costumbres y comportamientos desarrollados frente a amenazas naturales, que son las construcciones culturales denominadas estrategias adaptativas, concebidas y desarrolladas, no siempre de forma deliberada por las sociedades en su interacción y adaptación con el ambiente.

1.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala-Carcedo, F. 2002a. Introducción al análisis y gestión de riesgos. En *Riesgos naturales*, Ariel, Barcelona, pp. 135-145.
- Ayala-Carcedo, F. 2002b. Introducción a la matemática probabilística del riesgo. En *Riesgos naturales*, Ariel, Barcelona, pp. 135-145.
- Beck, U. 2006. *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona, Paidós, pp. 393.
- Blaikie, P., Cannon T., David, I. y B. Wisner. 1996. *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*. LA RED. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 9-51.
- Blaikie, P., Cannon T., David, I. and B. Wisner. 1994. *At Risk, natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge, London, pp. 283.
- Braudel, F. 1994. *La Historia y las Ciencias Sociales*. Alianza, Madrid, pp.222.
- Braudel, F. 1987. *El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II*, 2 ed., FCE, México, pp.949.
- Calderón, G. 2001. *Construcción y Reconstrucción del Desastre*. Plaza y Valdés, México, pp. 21-82.
- Calvo, F. 1984. La Geografía de los Riesgos. *GeoCrítica*, Cuadernos críticos de Geografía Humana, Universidad de Barcelona, No. 54, noviembre, pp. 14.
- Cardona, O. 2001. *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo, una crítica y una revisión necesaria para la gestión*. Artículo y ponencia para International Work-Conference on Vulnerability in Disasters Theory and Practice, 29 y 30 de junio, Disaster Studies of Wageningen, University and Research Centre, Wageningen, Holanda.

- Cardona, O. 1999. **Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. En Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámico complejos**, Tesis de doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, Universidad Politécnica de Cataluña, pp. 5-20.
- Carrillo, A. 2002. *Enfoques teóricos para el análisis histórico de los desastres*. **Clio**, Nueva Época, vol.1, no.26, pp.7-22.
- Castel, R. 2006. **La inseguridad social: ¿Qué es estar protegido?**, El Manantial, Buenos Aires.
- Cunny, F. 1983. *Disasters and Development*, Oxford University Press, Oxford.
- Cutter, S. 2001. **American Hazardscapes. The regionalization of hazards and disasters**, Washington D.C., Joseph Henry Press, pp. 211.
- Cutter, S., Boruff, B. y L. Shirley. 2003. Social vulnerability to environmental hazards, **Social Science Quarterly**, Volume 84, Number 2, June, pp. 242-261.
- Douglas, M. 1996. **La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales**, Barcelona, Paidós Studio, pp. 176.
- Douglas, M. y A. Wildavski. 1982. **Risk and Culture. An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers**, Berkeley, Ca., University of California Press.
- Diccionario de la lengua española Real Academia Española (versión Internet) disponible en www.rae.es (última consulta: 10 de abril, 2013).
- García-Acosta, V. 2006. Estrategias adaptativas y amenazas climáticas. En Urbina Javier y Julia Martínez (Compiladores). **Más allá del cambio climático: Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global**, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 29-46.
- García-Acosta, V. 2005. El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. **Desacatos**, Revista de Antropología Social. 19, septiembre-diciembre, pp.11-24.
- García-Acosta, V. 2004. La perspectiva histórica en la antropología del riesgo y del desastre. Acercamientos metodológicos. **Relaciones**, 97, Vol. XXV.
- García-Acosta, V. 1995. **Los sismos en la historia de México. Análisis histórico-social: Épocas Prehispánica y Colonial**. Tesis de Doctorado en Historia, UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, pp. 12-37.
- Hewitt, K. 1997. **Regions of Risk. A geographical introduction to disasters**. England, Longman, pp. 389.

- Hewitt, K. 1983. The idea of calamity in a technocratic age. En ***Interpretations of calamity***, Boston, Allen & Unwin.
- Izquierdo, J., 2000. Modelos estadísticos del riesgo y riesgo de los modelos estadísticos. EMPIRIA. ***Revista de Metodología de Ciencias Sociales***, No. 3, pp. 101-129.
- Konrad, H. 1996. Caribbean tropical storms ecological implications for pre-Hispanic and contemporary Maya subsistence practices on the Yucatan peninsula. ***Revista Mexicana del Caribe***. Año 1, No.1, Chetumal, Quintana Roo, pp.98-130.
- Lavell, A. 2005. Los conceptos, estudios y práctica en torno al tema de los riesgos y desastres en América Latina: evolución y cambio, 1980-2004: El rol de la red, sus miembros y sus instituciones de apoyo. En la Gobernabilidad en América Latina. Balance reciente y tendencias a futuro. FLACSO, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Secretaría General, pp. 66.
- Lavell, A. 2004. *Vulnerabilidad social: Una contribución a la especificación de la noción y sobre las necesidades de investigación en pro de la reducción del riesgo*. Ponencia presentada en el Seminario Internacional sobre nuevas perspectivas en la investigación científica y técnica para la atención y prevención de desastres, INDECI, Perú, 24-26 de noviembre.
- Lavell, A. 2000. Marco conceptual y analítico. ***Programa de vulnerabilidad del bajo Lempa. Prevención y mitigación de desastres naturales***, San Salvador, El Salvador. Banco Interamericano de Desarrollo. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. La RED, agosto.
- Liverman, D. 1996. Variación ambiental y transformación económica: Cambios de la vulnerabilidad a amenazas naturales en el México rural. En ***Desastres Modelo para Armar. Colección de piezas de un rompecabezas social***. LA RED, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. México, pp.85-98.
- Luhmann, N. 2006. ***Sociología del Riesgo***. México, Universidad Iberoamericana, pp.284.
- Macías, J.M. 1994. ***Introducción a la vulnerabilidad y al riesgo***. Diplomado en Gestión de la Protección Civil, CIESAS-Sistema Estatal de Protección Civil Veracruz, pp. 22.
- Mansilla, E. 2000. ***Riesgo y ciudad***. Universidad Nacional Autónoma de México, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, pp. 21-61.
- Maskrey, A. 1998. El Riesgo, en Maskrey A. (edit.) ***Navegando entre brumas***. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis del riesgo en América Latina, Lima, Perú, La RED.

- Maskrey, A. 1993. Vulnerabilidad y mitigación de desastres. En Maskrey, A. (comp.). **Los desastres no son naturales**, La RED, pp. 93-109.
- Maskrey, A. 1989. **El manejo popular de los desastres naturales**. Estudios de vulnerabilidad y mitigación. Tecnología Intermedia, Lima, Perú, pp. 19-75.
- Olcina, J. y F. Ayala. 2002. Riesgos naturales, conceptos fundamentales y clasificación. En **Riesgos naturales**, Ariel, Barcelona, pp. 41-73.
- Ordaz, M. 1996. Algunos conceptos sobre el análisis de riesgo. **PREVENCIÓN**, Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, No.14, mayo, pp.6-11.
- Quarantelli, E. 1996. Desastres y catástrofes: Condiciones y consecuencias para el desarrollo social. En **Desastres Modelo para Armar**. Colección de piezas de un rompecabezas social. LA RED, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. México, pp.30-43.
- Reynoso, E., M. Ordaz, O. Hinojoza, B. Huerta y M. Jaimes. 2012. Monitoreo automático y evaluación del riesgo de huracanes en México. **IC Ingeniería Civil**. Órgano oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, No. 516, abril, pp. 9-12.
- Rodríguez, J.M. 2007. La conformación de los “desastres naturales”, Construcción social del riesgo y variabilidad climática en Tijuana, B.C., **Frontera Norte**, Vol. 19, Enero-Junio, 37, pp. 83-112.
- Sagayo A. y E. León, 2000: El enfoque geohistórico: Una experiencia en la praxis educativa. **Geoenseñanza**, Universidad de los Andes, Vol.5, No.2, pp. 247-276.
- Saurí, D. 2006. Nota necrológica. Gilbert F. White, (Chicago, 1911-Boulder, Colorado), Doc. Anal. Geogr. No. 48, pp.13-14.
- Saurí, D. 1988. Cambio y continuidad en la geografía de los riesgos naturales, la aportación de la geografía radical. **Estudios Geográficos**, Vol. 49, No. 191, pp. 257-270.
- Smith, K. 2002. **Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disasters**, 3 ed, New York, Routledge, pp. 392.
- Swiss Re, 2011. **Natural catastrophes and man-made disasters in 2010: a year of devastating and costly events**, Switzerland, pp.40.
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global, en Maskrey A. (comp.). **Los desastres no son naturales**, Lima, Perú. La RED.

Wilches-Chaux, G. 1998. ***Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y soldador o yo voy a correr el riesgo***. Guía de la red para la gestión local del riesgo, Perú, La RED, pp.35-40.

Wisner, B., Blaikie, T., Cannon T. and I. Davis. 2004. ***At Risk, natural hazards, people's vulnerability and disasters***. 2 ed, Routledge, London, pp. 471.

World Bank, 2010. ***The World Bank Annual Report 2010: Year in Review***. October, pp.28.

CAPÍTULO 2. ESTIMACIÓN DEL PELIGRO DE LOS CICLONES TROPICALES DEL PACÍFICO NORORIENTAL

2.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se describen las características principales de los ciclones tropicales y se propone un método para calcular la probabilidad de que se presente un ciclón tropical en su etapa de tormenta tropical o huracán de categoría 1 a la 5 en la región del Pacífico nororiental, porque es una de las más activas en el mundo y afecta directamente a México cada temporada ciclónica.

Para calcular la probabilidad se analizaron las trayectorias de los ciclones tropicales en sus distintas etapas de desarrollo en un lapso de 60 años para las costas mexicanas del Pacífico nororiental.

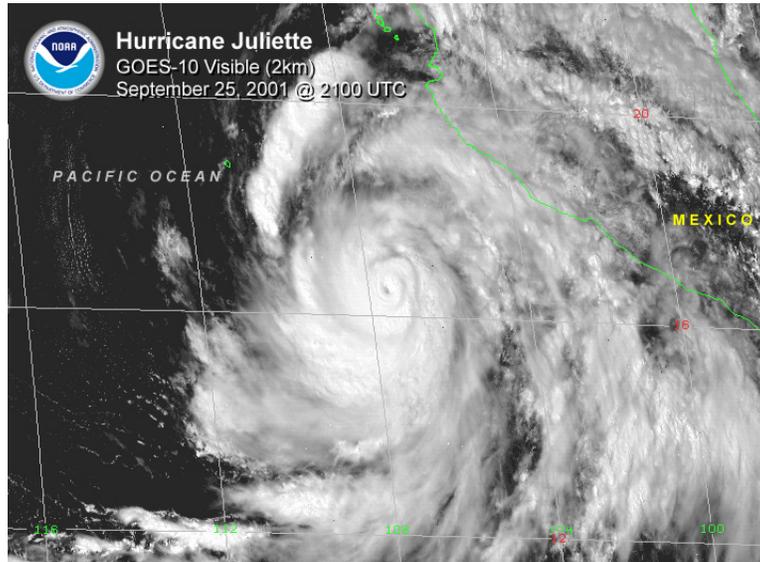
2.2 CICLONES TROPICALES

El ciclón tropical es una perturbación atmosférica de área casi circular con presiones que disminuyen hacia su centro. Consiste en una gran masa de aire húmedo con vientos fuertes que giran en forma de remolino alrededor de un centro de baja presión (Figura 2.1).

Los ciclones suelen trasladarse con velocidades de 10 a 40 km/h y en la superficie de la Tierra se manifiestan con la presencia de vientos y precipitaciones intensas. Además, en el mar originan oleaje alto y un ascenso mayor al nivel medio llamado marea de tormenta.

Los vientos alisios, la alta temperatura del mar y la rotación de la Tierra provocan que el movimiento giratorio de los vientos de los ciclones tropicales en el hemisferio norte sea contrario al sentido de avance de las manecillas del reloj (Figura 2.2).

Figura 2.1 Imagen de satélite del huracán Juliette de 2001, acercándose a la costa de los estados de Jalisco y Colima



Fuente: NOAA, 2001

Figura 2.2 Magnitud de los vientos concéntricos de un ciclón tropical



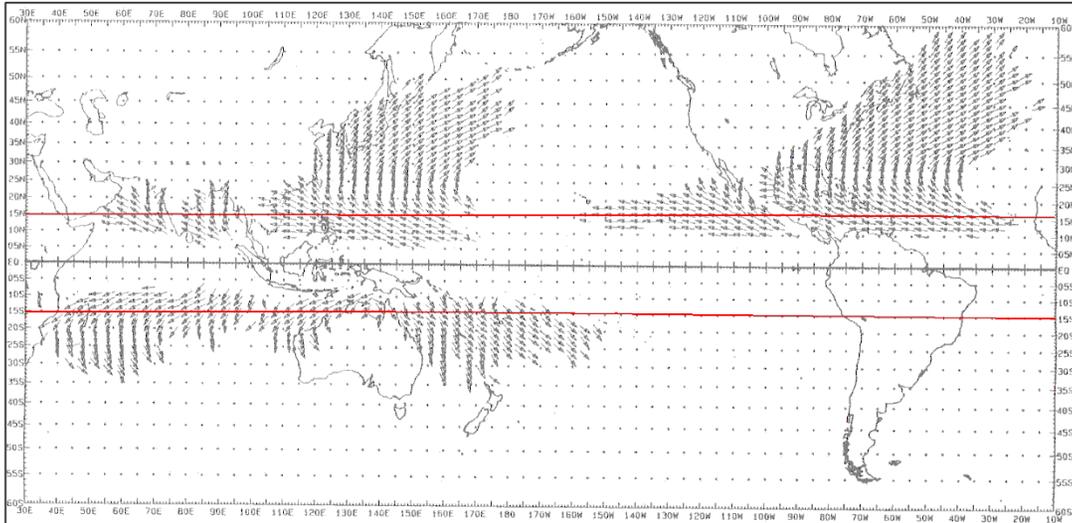
Fuente: Springall, 1975

2.2.1 Zonas ciclogénicas

Los ciclones tropicales del hemisferio norte se generan en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico entre los 5° y 15° de latitud; una vez formados se desplazan hacia el oeste (Figura 2.3) y

se presentan durante la época cálida, cuando las temperaturas del mar son del orden de 26 °C, generalmente ocurren entre los meses de mayo a noviembre.

Figura 2.3 Zonas ciclogénicas en el mundo

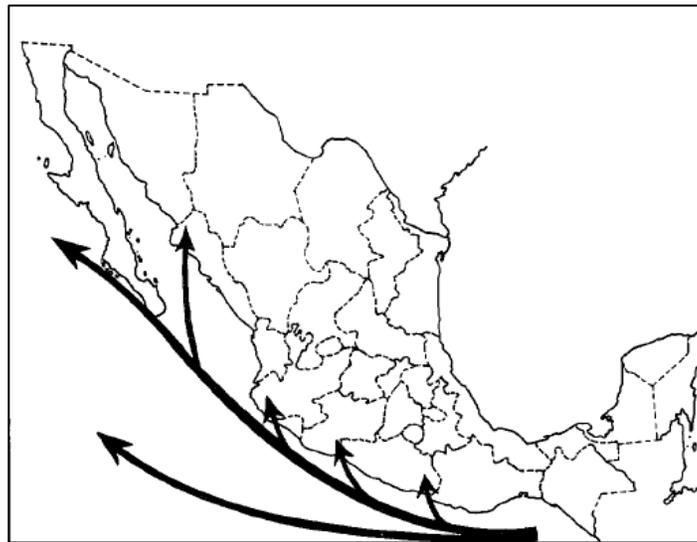


Fuente: Pielke, R. Jr. and Pielke, R. Sr, 1997

A las regiones donde se originan los ciclones tropicales se les conoce como zonas ciclogénicas. Los que afectan a México provienen de la sonda de Campeche, golfo de Tehuantepec, mar Caribe (alrededor de los 13 grados latitud norte y 65 grados longitud oeste) y sur de las Islas Cabo Verde (cerca de los 12 grados latitud norte y 57 grados longitud oeste).

Los ciclones del Pacífico nororiental generalmente mantienen sus trayectorias sobre el mar y sólo un tercio recurva hacia tierra o pasa cerca de la costa de México (Rosendal 1962 y Jáuregui, 1987), los ciclones son relativamente pequeños y de intensidad moderada, estas características se atribuyen a lo restringido del área oceánica de aguas tibias, donde estos fenómenos se generan y a la relativa proximidad de las aguas frías del norte, debido a la corriente de California que se desplaza al oeste de la península de Baja California (Figura 2.4).

Figura 2.4 Principales trayectorias de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental



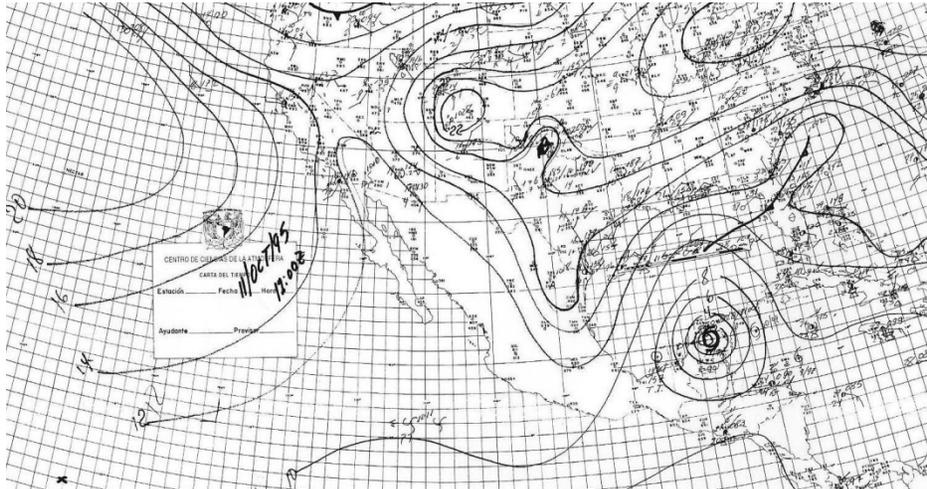
Fuente: Serra, 1971

2.2.2 Energía de un ciclón tropical

La energía del ciclón aumenta conforme es mayor la diferencia entre la presión de su centro con respecto a la de su periferia, que es del orden de 1013 milibares (101.3 kPa ó 29.92 pulgadas de mercurio ó 788 mm de mercurio); por ejemplo, en la Figura 2.5 se observa que el centro del huracán Roxanne se encuentra sobre la península de Yucatán y su presión llegó a ser menor que 1000 mb, mientras que en su borde exterior era de 1008 mb.

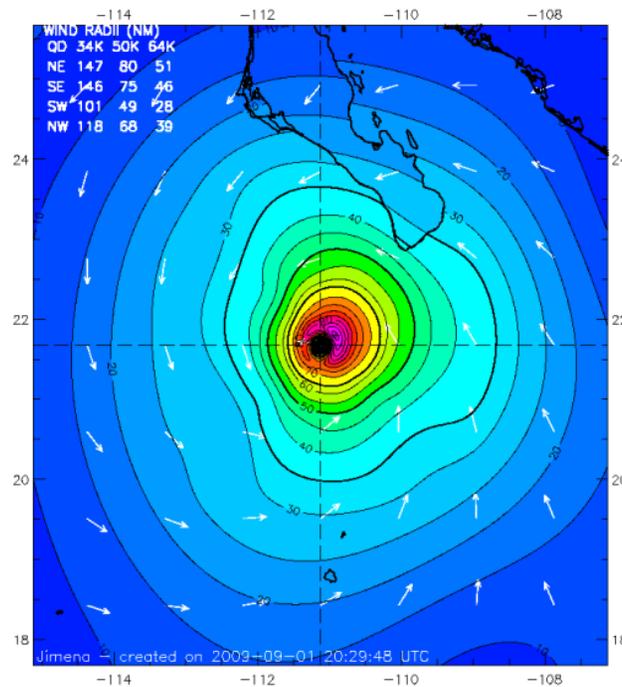
Por otra parte, los vientos máximos del ciclón suelen ser intensos cerca de su centro como ocurrió con el huracán Jimena, el 1 de septiembre de 2009, donde los vientos observados alcanzaron los 148 km/h; es decir, huracán categoría uno sobre el mar, mientras que en tierra eran de 74 km/h, o sea como tormenta tropical (Figura 2.6).

Figura 2.5 *Isobaras del huracán Roxanne del 11 de octubre de 1995 a las 07:00 h*



Fuente: CCA-UNAM, 1995

Figura 2.6 *Vientos máximos sostenidos del huracán Jimena a las 15:30 h local del centro, del 1 de septiembre de 2009*



Fuente: NOAA/AOML/Hurricane Research Division

De acuerdo con la presión central o de la intensidad de los vientos, los ciclones se clasifican en depresión tropical (1008 a 1004 mb, velocidad del máximo viento menor a 63 km/h), tormenta tropical (1004 a 990 mb, velocidad del máximo viento entre 63 y 118 km/h) y huracán (menor a 980 mb, velocidad del máximo viento mayor a 119 km/h). Al analizar los valores anteriores se concluye que la etapa más intensa de un ciclón tropical corresponde a la de huracán.

En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación de los ciclones tropicales, la cual es utilizada en la Región IV de la Organización Meteorológica Mundial que incluye a Norteamérica, Centroamérica y el Caribe.

Tabla 2.1 Escala de daño potencial según la NOAA

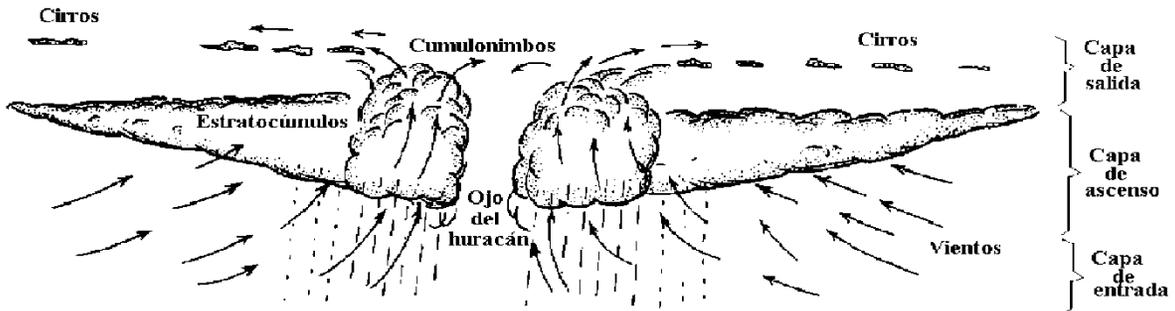
| CATEGORÍA | PRESIÓN CENTRAL (mb) | VIENTOS (km/h) | MAREA DE TORMENTA (m) | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|
| Perturbación tropical | 1008.1 a 1010 | | | Ligera circulación de vientos |
| Depresión tropical | 1004.1 a 1008 | <62 | | Localmente destructivo |
| Tormenta tropical | 990.1 a 1004 | 62.1 a 118 | 0 a 0.30 | Algunos efectos destructivos |
| Huracán categoría 1 | 980.1 a 965 | 118.1 a 154 | 0.31 a 1.70 | Daños mínimos |
| Huracán categoría 2 | 965.1 a 980 | 154.1 a 178 | 1.71 a 2.60 | Daños moderados |
| Huracán categoría 3 | 945.1 a 965 | 178.1 a 210 | 2.61 a 3.80 | Daños extensos |
| Huracán categoría 4 | 920.1 a 945 | 210.1 a 250 | 3.81 a 5.60 | Daños extremos |
| Huracán categoría 5 | < 920 | > 250 | > 5.60 | Daños catastróficos |

Fuente: NOAA, 2012

2.2.3 Estructura de un ciclón tropical

El centro de los ciclones tropicales se asemeja a un cilindro de 20 a 30 km de diámetro, su base está en contacto con la superficie de la Tierra y en la parte lateral se distinguen tres capas (Figura 2.7).

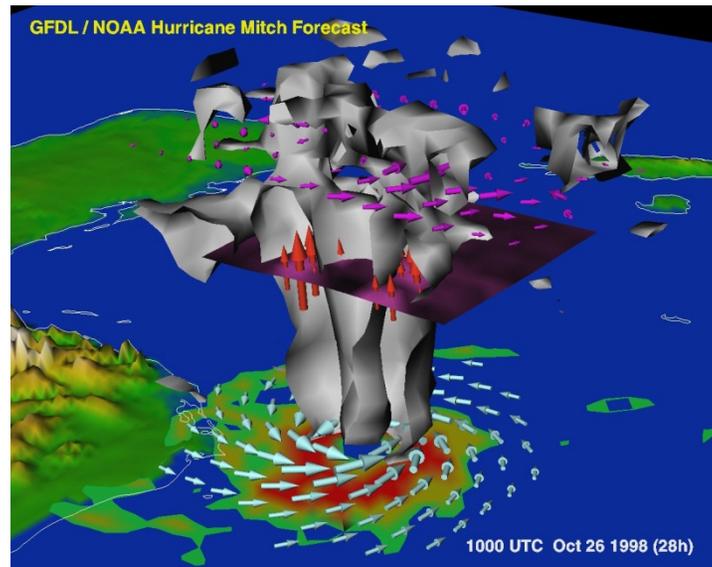
Figura 2.7 Condiciones atmosféricas en una sección transversal de un ciclón



Fuente: Jiménez *et al.*, 2007

La capa de entrada es la más cercana al mar, tiene una altura del orden de 1 km. Las corrientes con gran cantidad de humedad se dirigen a través de ella hacia el centro (convergencia de vientos), las más intensas se presentan cerca de la mitad de su espesor (Figura 2.8).

Figura 2.8 Características de los vientos de un ciclón tropical



Fuente: GFDL-NOAA, 1998.

En la capa de ascenso, la humedad asciende con vientos helicoidales a una capa superior, donde no presenta convergencia ni divergencia de corrientes. La parte inferior de ella comienza alrededor de 1 km de la superficie y la porción superior se localiza cerca de los 6 km.

La capa de salida se encuentra a partir de los 6 km de elevación. Las corrientes se mueven del centro hacia el exterior y con la altura tienden a ser radiales (zona de divergencia). La intensidad de estas corrientes es casi la mitad de las de entrada.

2.2.4 Efectos de los ciclones tropicales

Las consecuencias de los ciclones tropicales se manifiestan, principalmente en cuatro aspectos: viento, marea de tormenta, oleaje y precipitación.

2.2.4.1 Vientos

Los vientos de un ciclón son fuertes y con ráfagas, que persisten por varias horas sobre un determinado sitio. Cuando ocurre un huracán los vientos soplan en cierta dirección, luego disminuyen bruscamente al presentarse el ojo sobre un determinado lugar y, posteriormente se reinician en forma súbita actuando en dirección opuesta a la inicial.

La energía cinética de los vientos origina grandes fuerzas de arrastre sobre objetos que se encuentran en su trayecto. Estas fuerzas dependen del área expuesta de los cuerpos y del cuadrado de su velocidad del viento, por lo que, al intensificarse los vientos incrementan su capacidad de destrucción, éstos pueden derrumbar palmeras, destruir muros, dañar edificios y levantar techos de naves industriales (Figura 2.9).

Figura 2.9 Silos dañados por el viento del huracán Lane (2006) en La Cruz de Elota, Sinaloa



Fuente: UEPC-Sinaloa, 2006

2.2.4.2 Marea de tormenta

La marea de tormenta se refiere a la sobreelevación del nivel medio del mar cercano a la costa, debido a la acción de los vientos sobre la superficie del mar; cuando a ésta se le adiciona el ascenso temporal provocado por la marea astronómica, es aún mayor el incremento del nivel medio del mar y puede causar inundaciones en extensas zonas de terreno en las cercanías de la costa y dejar en tierra firme embarcaciones una vez que ha pasado el ciclón tropical (Figura 2.10).

Figura 2.10 Efecto del incremento del nivel medio del mar



Fuente: Jiménez, *et al.*, 2003

2.2.4.3 Oleaje

Los vientos en la cercanía con la superficie del mar transfieren energía, formando así ondulaciones de la superficie libre. Cuando persisten, en un área amplia del mar es mayor la energía que recibe éste y se forman olas de gran altura. En la proximidad de las costas las olas están condicionadas a la profundidad y por ello se presenta su rompiente; sin embargo, debido al ascenso del nivel medio del mar, el oleaje alto puede provocar fuertes empujes sobre las estructuras y arrastrar grandes cantidades de arena (Figura 2.11). Esto último podría reducir la extensión de las playas como sucedió en Cancún con el huracán Gilbert en 1988 y con el huracán Wilma en 2005.

Figura 2.11 Oleaje alto en el puerto de Mazatlán causado por la tormenta tropical Paul, 25 de octubre de 2006



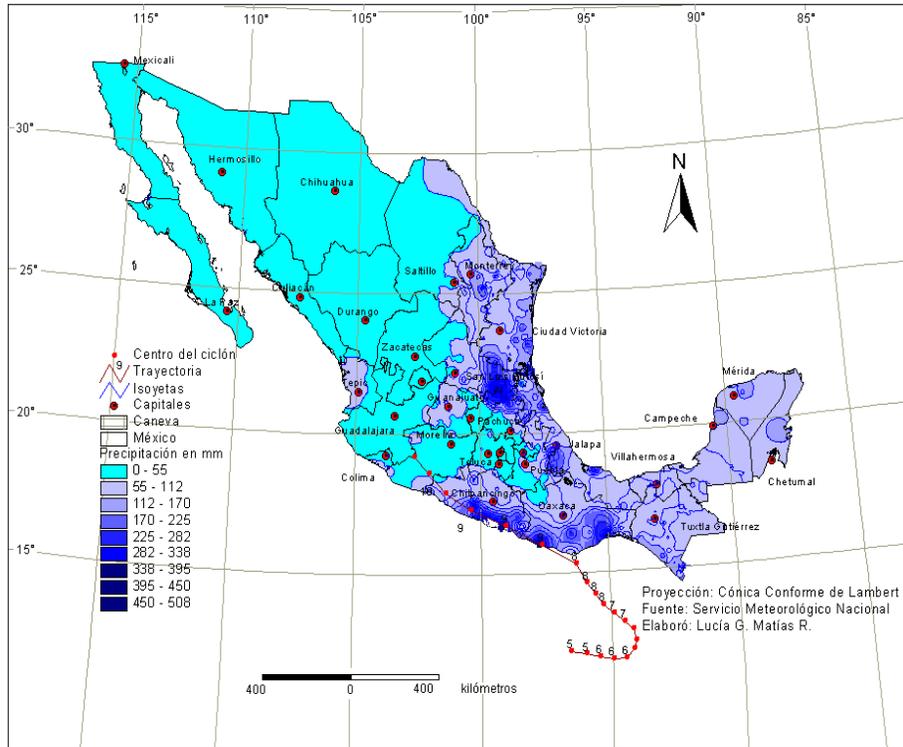
Fuente: UEPC-Sinaloa, 2006

2.2.4.4 Precipitación

Los ciclones tropicales están acompañados por intensas precipitaciones, las cuales dependen del área (en planta) y velocidad de desplazamiento del ciclón. La intensidad de éstas pueden exceder los 250 mm/h en un área circular de 50 km de diámetro; por ejemplo, en la Figura 2.12 se muestra la lluvia del huracán Pauline que se presentó en Acapulco, Guerrero con una intensidad máxima de 120 mm en una hora y una precipitación total de 411 mm durante 13

horas, el 9 de octubre de 1997, lo que generó fuertes flujos de agua en la zona de la montaña (Matías, 2000).

Figura 2.12 Precipitación del día 9 de octubre producida por el huracán Pauline



Fuente: Elaboración propia con base en Matías, 2000

Las precipitaciones de los ciclones tropicales suelen incrementar los flujos de agua de los ríos, más allá de la altura de los bordos de sus márgenes y causar su desbordamiento, y con ello generar inundaciones. En ocasiones, las lluvias acumuladas de uno o más días hacen posible que se cubra con agua amplias zonas del terreno o bien se produzcan deslizamientos de laderas.

2.2.5 Ciclones tropicales en México

En el catálogo de Desastres Agrícolas en México se encontró información sobre los huracanes de la época prehispánica hasta 1900; sin embargo, en este periodo no hay una diferencia entre ciclón y huracán, porque en ocasiones se le denomina de la misma manera a los fenómenos que

presentaron lluvias intensas y fuertes vientos (García Acosta, *et al.*, 2003). Entre los reportes sobresalen aquéllos que afectaron las costas mexicanas y que ocurrieron entre los meses de mayo a noviembre (García Acosta, 2005) (Tablas 2.2 y 2.3).

Tabla 2.2 Huracanes o ciclones registrados en los siglos XV-XVIII

| Pacífico nororiental | | golfo de México/mar Caribe | |
|----------------------|----------|----------------------------|-------------------|
| Año | Estado | Año | Estado |
| 1537 | Guerrero | ca. 1464 | Yucatán |
| 1573 | Colima | 1552 | Veracruz, Yucatán |
| 1609 | Jalisco | ac.1561 | Yucatán |
| 1616 | Guerrero | 1568 | Yucatán |
| 1722 | Nayarit | 1625 | Veracruz |
| 1731 | Oaxaca | 1665 | Veracruz |
| 1785 | Jalisco | 1692 | Yucatán |
| 1794 | Chiapas | 1697 | Veracruz |
| | | 1765 | Yucatán |
| | | 1771 | Veracruz |
| | | 1784 | Veracruz |
| Total | 8 | Total | 11 |

Fuente: García Acosta, *et al.*, 2003

Tabla 2.3 Huracanes o ciclones registrados en el siglo XIX

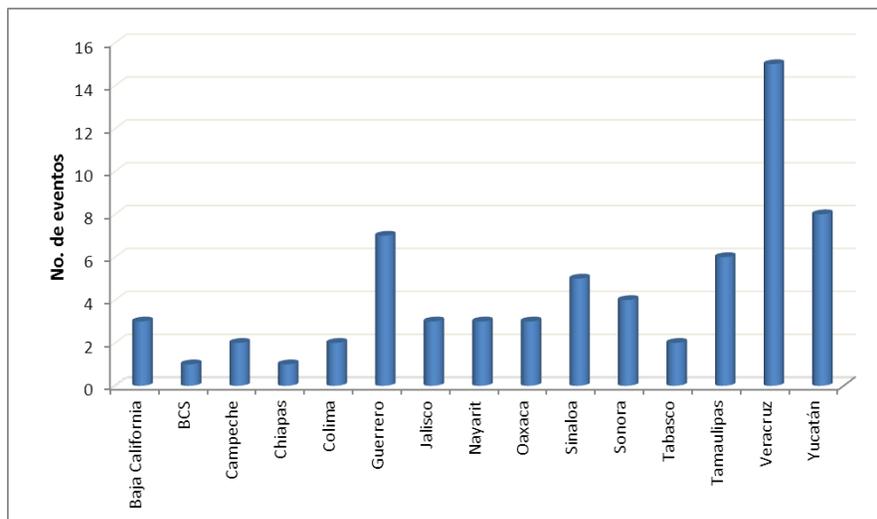
| Pacífico nororiental | | golfo de México/mar Caribe | |
|----------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Año | Estado | Año | Estado |
| 1810 | Guerrero | 1807 | Yucatán |
| 1831 | Oaxaca | 1810 | Veracruz |
| 1840 | Guerrero | 1844 | Tabasco, Veracruz |
| 1848 | Guerrero | 1853 | Veracruz |
| 1850 | Baja California | 1857 | Veracruz |
| 1856 | Baja California | 1860 | Veracruz |
| 1857 | Sonora | 1867 | Tamaulipas |
| 1862 | Oaxaca | 1872 | Tamaulipas |
| 1868 | Gro., Nay., Son., Sin. | 1874 | Veracruz |
| 1870 | Guerrero | 1878 | Veracruz |
| 1880 | Nayarit | 1879 | Tabasco |
| 1881 | Sinaloa | 1880 | Tamaulipas |
| 1882 | BCS | 1882 | Veracruz |
| 1883 | Sinaloa | 1886 | Tamaulipas |
| 1885 | Nayarit | 1887 | Tamaulipas |
| 1887 | Sinaloa, Nayarit | 1887 | Camp., Yuc., Tab., Ver. |
| 1890 | Sonora | 1888 | Camp., Yuc., Tab., Ver. |
| 1892 | Sonora | 1889 | Tabasco |
| 1893 | Guerrero | 1892 | Veracruz |

| Pacífico nororiental | | golfo de México/mar Caribe | |
|----------------------|------------------------------|----------------------------|------------|
| 1894 | Sonora | 1895 | Tamaulipas |
| 1895 | B.C., Col., Nay., Sin., Son. | 1896 | Veracruz |
| 1896 | Jal., Sin., Oax. | 1899 | Veracruz |
| 1897 | Sin., BC, Son. | | |
| 1900 | Sinaloa | | |
| Total | 24 | Total | 22 |

Fuente: García Acosta, *et al.*, 2003

De las tablas anteriores, se deduce que en el siglo XV al XIX, los estados más afectados por estos meteoros ha sido Veracruz en el golfo de México y mar Caribe, mientras que en Pacífico nororiental fue Guerrero con 15 y 7 eventos, respectivamente (Figura 2.13).

Figura 2.13 Huracanes o ciclones registrados por estado en los siglos XV al XIX



Fuente: García Acosta, et al., 2003

Por otra parte, algunos ciclones que han ocasionado severos problemas en el Pacífico nororiental durante el siglo XX y XXI, se presentan en la Tabla 2.4.

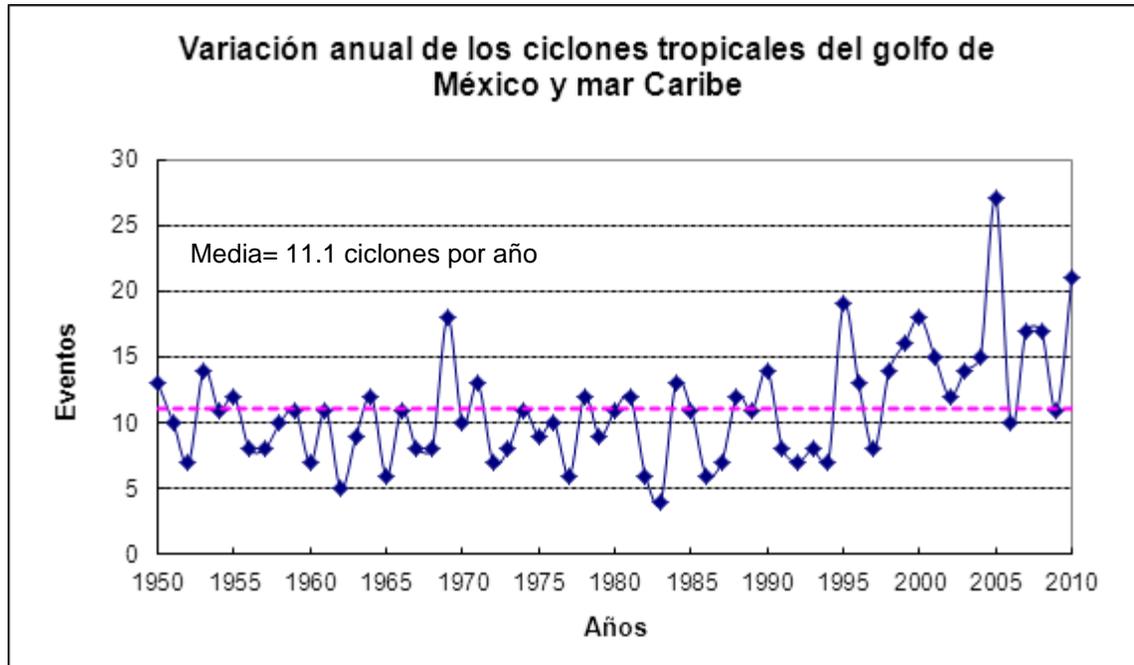
En México entre los meses de mayo a noviembre se presentan en promedio, 24 ciclones con vientos mayores a 63 km/h, de los cuales 15 ocurren en el océano Pacífico y 11 en el Golfo de México y Mar Caribe (NHC, 2011) (Figura 2.14 y Figura 2.15).

Tabla 2.4 Algunos ciclones tropicales registrados en el siglo XX y XXI

| Nombre | Año | Fecha | Categoría de impacto | Características |
|------------|------|--------------------|----------------------|--|
| Sin nombre | 1918 | 16 y 17 septiembre | | 30 horas de lluvias sobre el sur de la península de Baja California, 14 decesos en San José del Cabo, una en Todos los Santos y otra más en El Triunfo. |
| Manzanillo | 1959 | 23 de octubre | Huracán 4 | 1000 ó 1500 decesos ocurrieron en el estado de Colima. El huracán provocó flujos de lodo por las fuertes precipitaciones y afectó desde Barra de Navidad, Jalisco hasta Coahuayana, Michoacán. |
| Liza | 1976 | 25 sept al 2 oct | Huracán 4 | Vientos de 220 km/h, impactó en La Paz, BCS y en Topolobampo, Sin. Generó lluvia máxima en 24 h de 425 mm en San Bartolo, BCS. Provocó desastres a la infraestructura; así como 200,000 damnificados y daños económicos por 700 millones de pesos en Baja California Sur y 630 decesos. |
| Paul | 1982 | 27 sept | Huracán 3 | Vientos máximos de 195 km/h afectaron a Cabo San Lucas en el primer impacto, después en Los Mochis, Sin., los vientos fueron de 159 km/h. Los mayores daños fueron por viento y lluvia que se presentaron entre Los Mochis y Guamúchil, Sin., donde el 80% de los cultivos de frijol fueron destruido. Por otra parte, en BCS 24, 000 personas perdieron sus viviendas. Los daños materiales ascendieron a 70 millones de dólares. |
| Tico | 1983 | 11-19 octubre | Huracán 3 | Vientos máximos de 205 km/h, el huracán impactó en Camainera, Sin., y causó severos daños en el puerto de Mazatlán, murieron nueve pescadores y se hundieron nueve pequeñas embarcaciones. Se reportaron 105 desaparecidos y 25, 000 damnificados. |
| Kiko | 1989 | 24-29 agosto | Huracán 3 | Vientos de 195 km/h afectaron la Bahía de Los Muertos, BCS. También se presentaron lluvias torrenciales desde Cabo San Lucas hasta Todos los Santos durante el 27 de agosto. |
| Pauline | 1997 | 6-10 octubre | Huracán 3 | Vientos máximos de 195 km/h dañaron a Puerto Ángel, Oax. Ocasiónó desbordamiento de ríos que provocaron inundaciones rápidas y deslizamientos de tierra en Guerrero. Además de 250 decesos. |
| Kenna | 2002 | 21-25 oct | Huracán 4 | Vientos máximos de 230 km/h impactó en San Blas, Nay. Se presentaron cuatro decesos y cerca de 100 heridos en San Blas y Puerto Vallarta, debido a los cristales dañados por el viento. En Puerto Vallarta, la marea de tormenta fue responsable de las pérdidas económicas que ascendieron a los 5 millones de dólares. En San Blas, el 80 ó 90% de las casas fueron dañadas. |
| Lane | 2006 | 13-17 sept | Huracán 3 | Vientos de 205 km/h sobre La Cruz de Elota, Sin. Se presentaron dos decesos en el estado y hubo 150, 000 personas afectadas, 3203 viviendas dañadas y 149 escuelas. La precipitación máxima ocurrió en la estación El Dorado con 278 mm en 24 horas. |
| Norbert | 2008 | 3-12 oct | Huracán 4 | Vientos máximos de 215 km/h, el meteoro tocó tierra en Puerto Cortés, BCS y en Yavaros, Son. Lluvia máxima de 121.3 mm en Cd. Constitución, BCS. En Sonora hubo 417 viviendas con daños totales, en el sector agropecuario se perdieron 3,370 hectáreas, el cultivo más siniestrado fue el sorgo. |
| Jimena | 2009 | 28 ago - 4 sept | Huracán 2 | Lluvia máxima en 24 h de 514.9 mm en Guaymas, Son. Jimena generó inundaciones en el noroeste de México y se presentó un deceso producto de las inundaciones. Además de varios edificios dañados. |

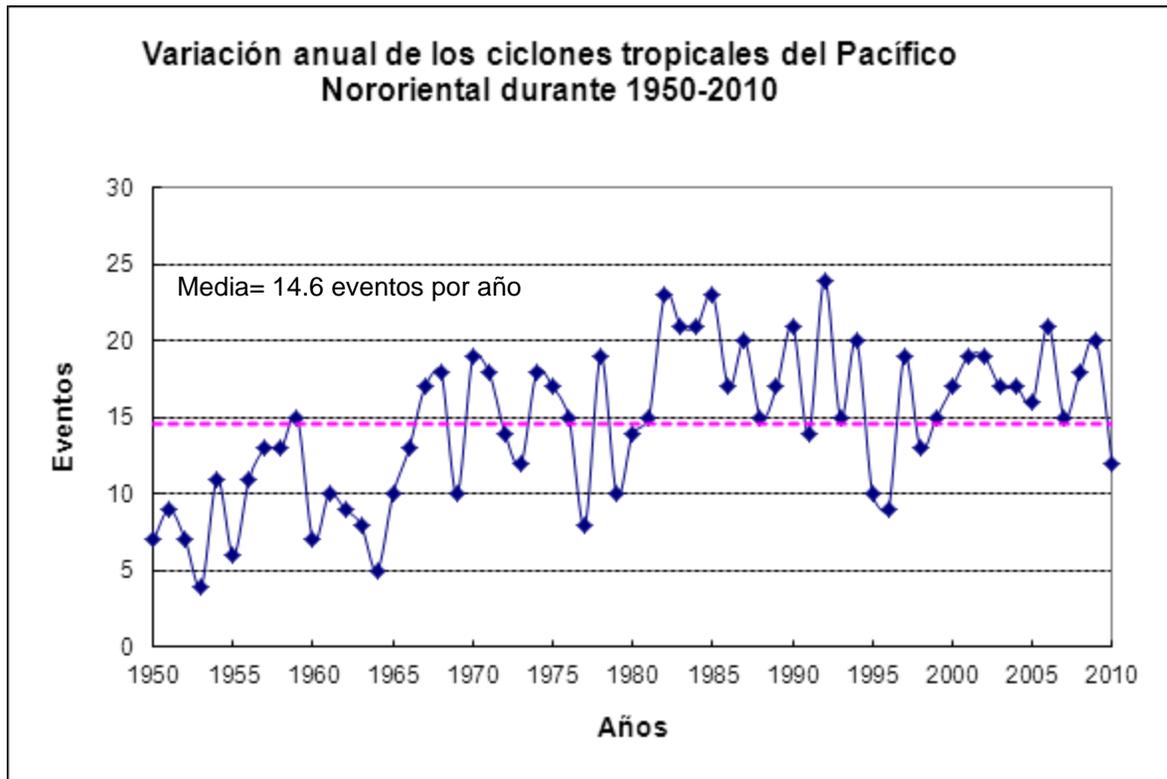
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.14 Promedio anual de los ciclones tropicales en las costas del golfo de México y mar Caribe



Fuente: NHC, 2011

Durante el periodo de 1950 al 2010, los ciclones del golfo de México y mar Caribe parecen aumentar desde 1995, mientras que los del Pacífico nororiental son constantes, excepto el 2010, donde hubo un decremento por debajo de la media histórica. En contraste, las estadísticas de los ciclones que han tocado tierra en la vertiente del Pacífico fueron 90, mientras que sólo 51 afectaron el golfo de México y el mar Caribe. Por lo que el valor esperado de que impacte un fenómeno en el Pacífico es de uno y medio evento al año. De éstos sólo uno lo ha hecho como categoría cinco, en la escala Saffir- Simpson; es decir, un huracán catastrófico, el cual afectó el puerto de Manzanillo, Colima en 1959. En cambio, en el golfo de México y mar Caribe han sido ocho huracanes (Jáuregui, 2003).

Figura 2.15 Promedio anual de los ciclones tropicales en las costas del Pacífico nororiental

Fuente: NHC, 2011

Actualmente, el seguimiento de los ciclones tropicales se realiza a través de satélites meteorológicos de última generación, mientras que el pronóstico de las trayectorias se obtiene con base en más de 15 modelos matemáticos que son alimentados con datos observados tales como radiosondeos, estaciones en superficie, boyas, observatorios meteorológicos, radares y en registros obtenidos por los aviones cazahuracanes.

2.3 DATOS Y METODOLOGÍA

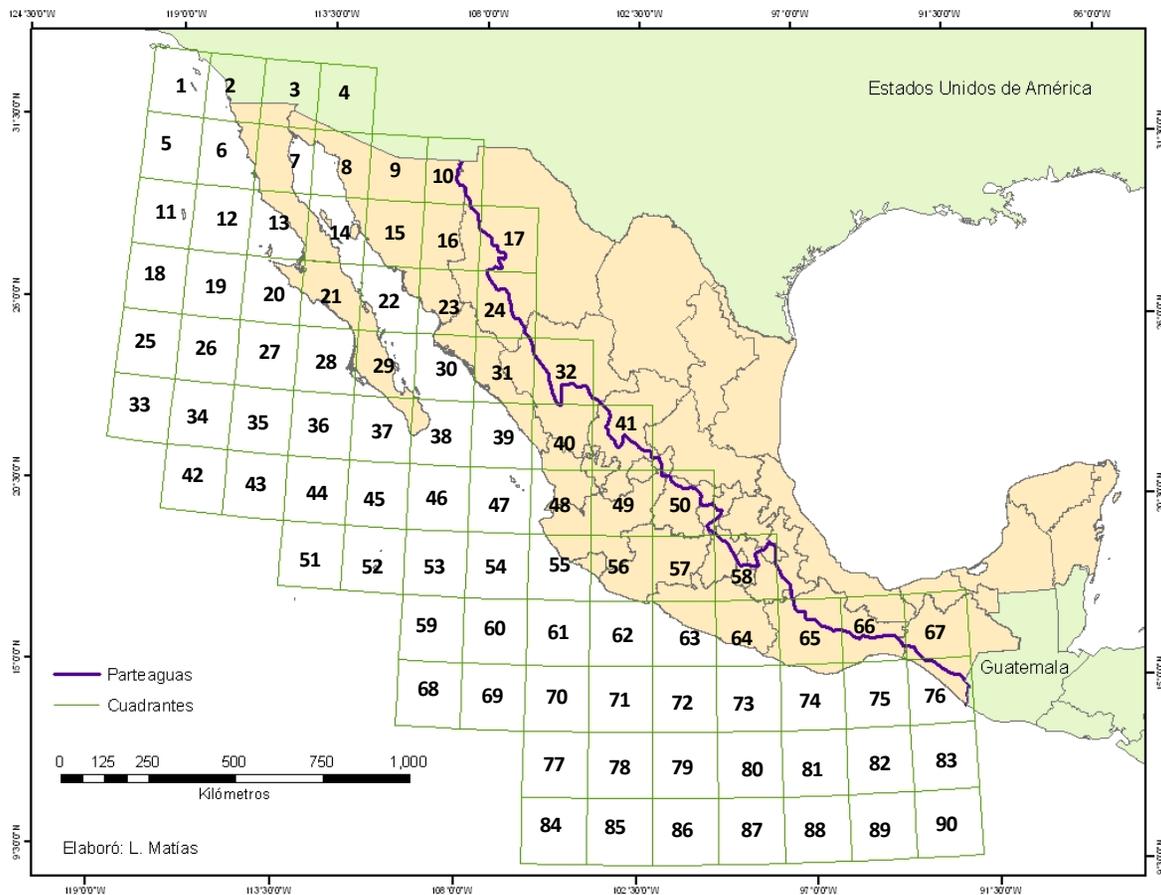
Se utilizó la base de datos de los ciclones tropicales que posee el National Hurricane Center (NHC) de Estados Unidos de América y el del Weather Unisys, disponible en internet. Con el propósito de determinar las probabilidades de que en un año en algunas regiones de la República Mexicana se presente un ciclón tropical con categoría de tormenta tropical o de huracán; es decir, un ciclón con presión central menor a 1004 mb.

El periodo considerado con registro de ciclones tropicales fue de 1950 a 2010 para las costas del océano Pacífico nororiental, tomando en cuenta hasta el parteaguas continental, con el propósito de identificar la influencia de estos meteoros en la vertiente del Pacífico. Primeramente, se formó una malla de cuadrados delimitada por dos paralelos y dos meridianos que están separados entre sí, en dos grados de latitud y longitud, resultando un total de 90 cuadrantes (Figura 2.16). Para disponer de una región, donde han ocurrido tormentas tropicales o huracanes en un número suficiente y elaborar estimaciones más confiables. La probabilidad empírica de ocurrencia se obtiene para los ciclones tropicales en sus etapas de tormenta tropical o de huracán de categoría 1 a la 5.

Se realizó la búsqueda de cuántas depresiones, tormentas tropicales y huracanes (en todas sus categorías) se han presentado en cada uno de los cuadrantes de la malla cercanos a 500 km de las costas mexicanas o sobre el continente, debido a que es la distancia, donde se observa la influencia de las lluvias producto de estos meteoros (Douglas and Englehart, 2001).

Los ciclones tropicales se ubicaron de acuerdo con las coordenadas de su centro. Cuando en una celda se encontraron valores diferentes de presión central, se seleccionó el más pequeño, para asignarle la categoría más intensa del ciclón.

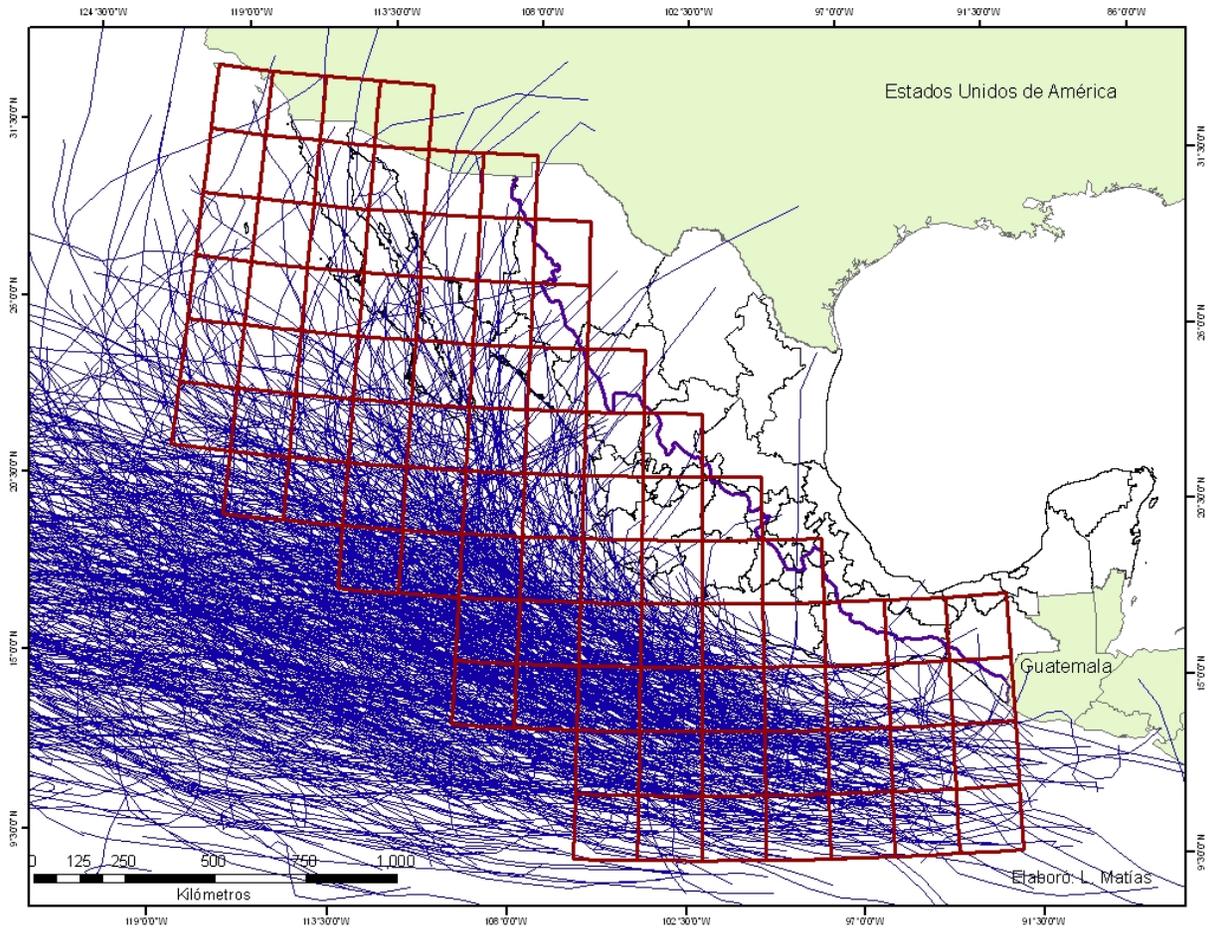
Figura 2.16 Cuadrantes analizados para estimar la probabilidad de ocurrencia de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental



Fuente: Elaboración propia con base en Fuentes y Vázquez, 1997

Para determinar el número de ciclones tropicales de distinta categoría en cada cuadrante de interés, se realizó con base en el dibujo de sus trayectorias dentro del Sistema de Información Geográfica que utiliza el software Arc-Gis versión 9.3 (Figura 2.17).

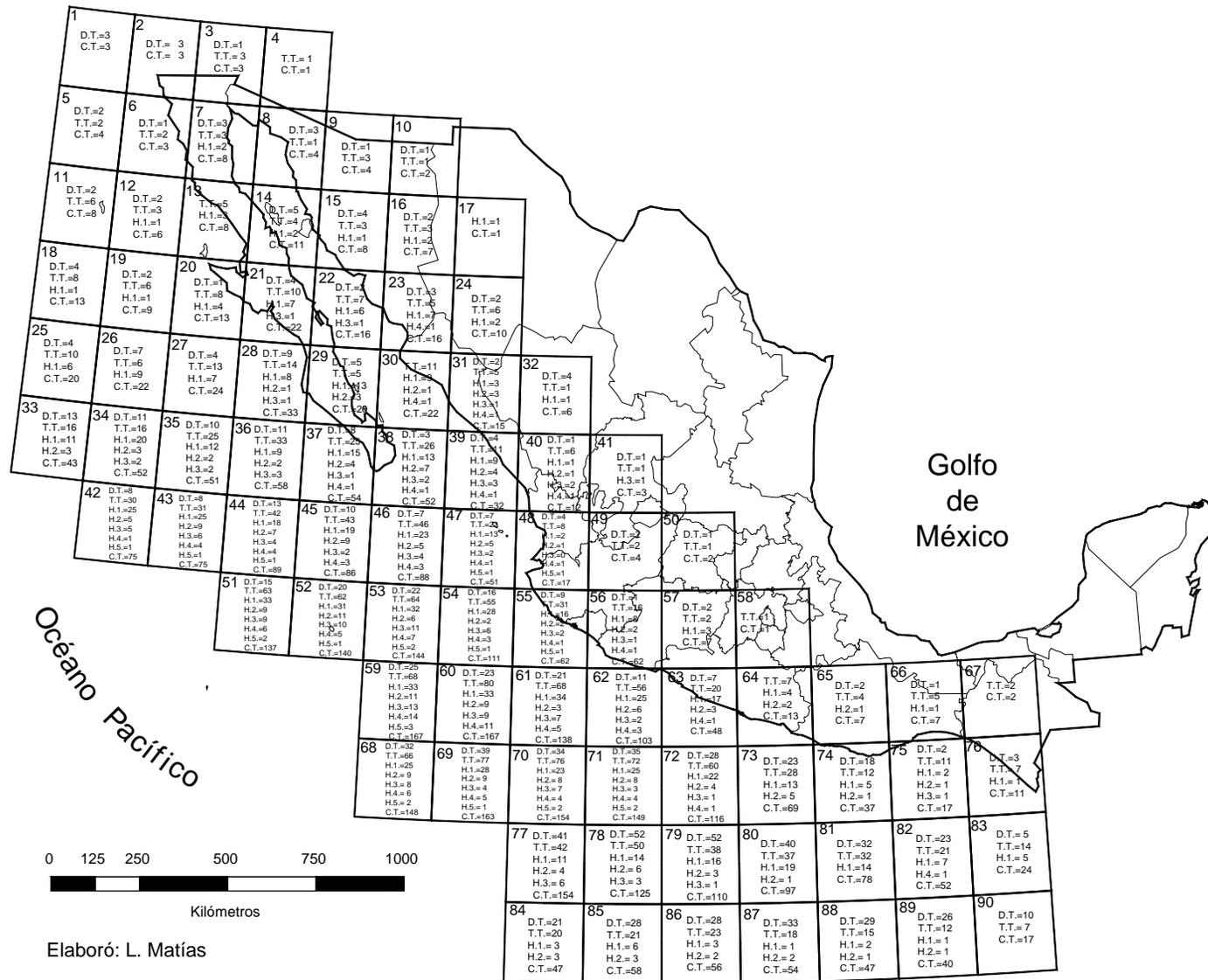
Figura 2.17 Trayectorias de ciclones tropicales analizadas para estimar la probabilidad de ocurrencia



Fuente: NHC, 2011

Como en un mismo año, dentro de una celda, se podrían presentar varias depresiones tropicales, tormentas tropicales o huracanes de distinta categoría, se escogió sólo un evento anual, el más intenso, para disponer del máximo fenómeno. Los resultados obtenidos se muestran de la Figura 2.18.

Figura 2.18 Número de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes de distinta categoría que se han presentado en 60 años en el Pacífico Nororiental



2.4 CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES

Se consideró que el número de ocurrencia de un ciclón tropical dentro de un área en particular, corresponde a un proceso aleatorio que está controlado por un mecanismo al azar que se desarrolla dentro de un intervalo continuo de tiempo, de días o meses, ya que no es necesariamente un año. Además se toma en cuenta la ocurrencia de varios eventos en un año, así como la ocurrencia de ellos dentro de un lapso relativamente pequeño. De este modo, no solamente se consideran los máximos anuales como habitualmente se hace en estadística de extremos en Hidrología o en otras especialidades de la ingeniería.

Debido a la forma en que se distribuyen los valores discretos y las razones sobre su ocurrencia en cierto lapso, se consideró que las probabilidades empíricas de presentación anual de tormentas tropicales o de huracanes de distinta categoría, serían estimadas a partir de la distribución de probabilidad de Poisson.

En forma similar en el Shore Protection Manual (1984) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos se obtiene con una distribución de Poisson el número de eventos de tormenta en un año.

En el análisis se excluyeron a las depresiones tropicales porque sus frecuencias de presentación no mostraron un patrón definido, quizá por la dificultad de precisar sus datos.

La distribución de probabilidad de Poisson es discreta, con ella se obtiene la probabilidad de que ocurra un evento k veces dentro de un intervalo de tiempo fijo, cuando los eventos se presentan con una frecuencia media (λ) y son independientes del tiempo en que ocurren.

La distribución de probabilidad de Poisson está dada por:

$$p(k,\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (2.1)$$

donde e es la base del logaritmo natural ($e = 2.71828\dots$), $k = 0, 1, 2, \dots$ y la notación “ $k!$ ” representa el factorial del número k .

La frecuencia media λ es una cantidad real positiva que es igual al número esperado de ocurrencias del evento dentro del intervalo de tiempo dado. La media y la variancia de la distribución de Poisson son iguales al parámetro λ .

2.4.1 Obtención de la probabilidad de presentación anual de tormentas tropicales o huracanes en ciertas celdas de interés

Para realizar una mejor estimación de las probabilidades de presentación anual de tormentas tropicales o huracanes, se comenzó con agruparlos en una sola clase en cada una de las celdas consideradas.

La probabilidad de que en la celda ocurra en un año, una tormenta tropical o un huracán en cualquiera de sus categorías, se obtuvo a partir del número de años en que al menos se presentó una tormenta tropical o un huracán. La frecuencia media se calcula entonces como:

$$\lambda = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.2)$$

Donde $\sum X_i$ es la sumatoria de los eventos de tormenta tropical y huracán y n es el número de años que en este estudio fue igual a 60. Así la probabilidad de que se produzca uno o más eventos es el complemento de que se produzcan cero eventos, es decir $P = 1 - p(0, \lambda)$. Como la probabilidad de que se produzcan cero eventos, aplicando la ec. 2.1, es

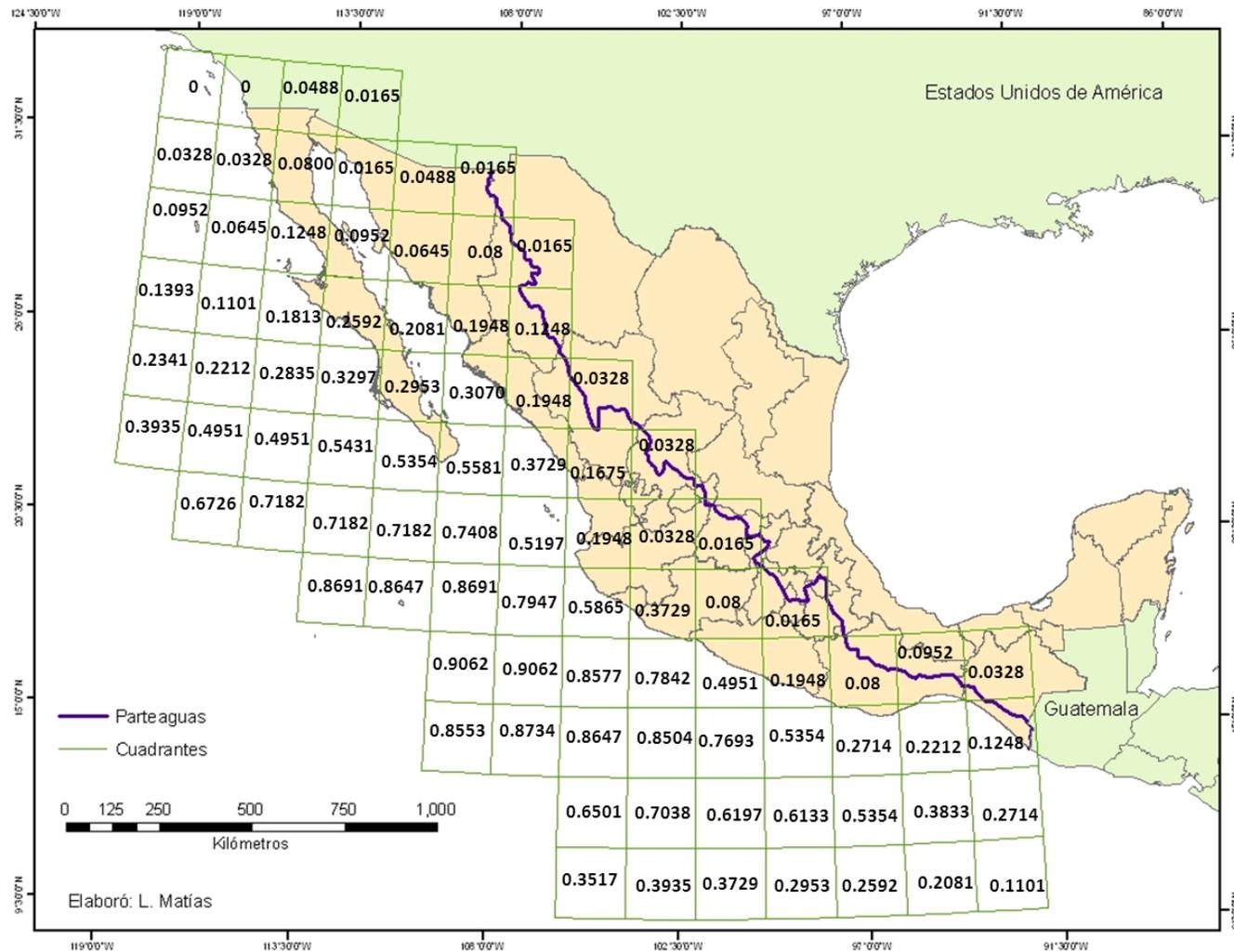
$$p(0, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^0}{0!} = e^{-\lambda}$$

Ya que $\lambda^0=1$ y $0!=1$, entonces la probabilidad de que se produzca uno o más eventos en un año es:

$$P = 1 - e^{-\lambda} \quad (2.3)$$

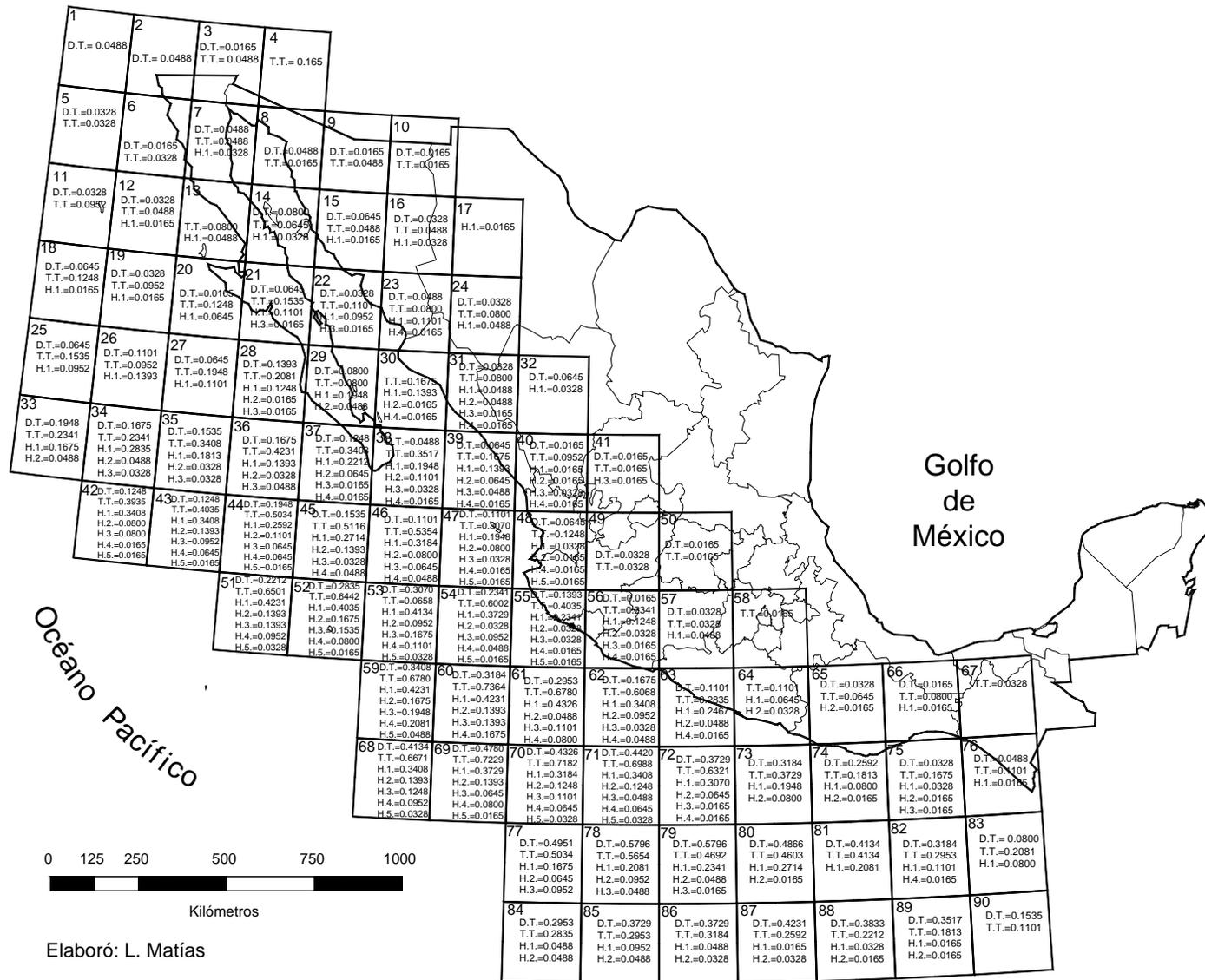
Con base en el conteo de registros se obtuvieron las probabilidades de presentación anual de tormentas tropicales o huracanes en cada una de las celdas seleccionadas en el océano Pacífico (Figura 2.19 y Figura 2.20).

Figura 2.19 Probabilidad anual de presentarse tormentas tropicales y huracanes en las costas del Pacífico Nororiental, al menos un evento en un año



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.20 Probabilidad anual de presentarse ciclones tropicales de cualquier categoría en las costas del Pacífico Nororiental



2.5 CONCLUSIONES

Se determinó la probabilidad de que se presenten tormentas tropicales o huracanes de cierta categoría en 90 cuadrantes de 2° latitud por 2° longitud, con base en los ciclones tropicales que han ocurrido en 60 años en el océano Pacífico nororiental. De modo que, se cumplieron varios conceptos de la teoría de la probabilidad congruentes con algunas estimaciones de los huracanes más intensos que han ocurrido en distintas zonas de las costas de México. El número de depresiones tropicales, tormentas y huracanes de cada categoría se refiere a las veces en que el fenómeno fue el más intenso del año.

Se encontró que no existe una relación en la ocurrencia de depresiones tropicales que se han presentado en las diferentes zonas de análisis, por lo que se excluyeron del mismo. Sin embargo, se observó un comportamiento regular para el caso de las tormentas tropicales y los huracanes de categoría 1 a 5.

El análisis de los ciclones tropicales fue con base en las presiones centrales, y en algunos casos, ésta se infirió a partir de los vientos considerados en la escala Saffir-Simpson.

Para mejorar las estimaciones de las probabilidades de ocurrencia, se utilizaron interpolaciones no lineales con base en la forma del histograma de los huracanes del Pacífico nororiental, además de cumplir con el requisito de la suma de probabilidades de ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes que fuesen similares a la probabilidad de los eventos. En la mayoría de las ocasiones, el ajuste implicó modificaciones pequeñas a las primeras estimaciones de las probabilidades anuales.

2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canavos, G. 1988. *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos*. McGrawHill, México, pp. 28.45.

- CCA-UNAM. 1995. **Cartas de superficie del huracán Roxanne sobre la región IV**. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Archivo Interno del Departamento de Climatología Física.
- CONAGUA, 2012. **Análisis de las temporadas de huracanes de los años 2009, 2010 y 2011 en México**, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México, pp. 9-11.
- Douglas, A., and P. Englehart. 2001. Modulation of summer rainfall in Mexico by Eastern north Pacific Tropical Storm. **Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop**, Tucson, Arizona, pp. 45-48.
- Fuentes-Mariles, O. y Ma. Vázquez. 1997: Probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales en México. Centro Nacional de Prevención de Desastres, **Cuaderno de Investigación** No. 42, julio, pp. 38
- García Acosta, V. 2005. Introducción. Huracanes en el Pacífico mexicano. En **La construcción social de riesgos y el huracán Paulina**. Publicaciones de la Casa Chata. México, pp.13-33.
- García Acosta, V., J. Pérez y A. Molina. 2003. **Desastres agrícolas en México. Catálogo histórico. Épocas prehispánica y colonial (958-1822)**, t.I, CIESAS-FCE., México.
- GFDL-NOAA. 1998. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Weather & Atmospheric Dynamics. **Hurricane Mitch Forecast**, En <http://www.gfdl.noaa.gov/weather-and-atmospheric-dynamics>, [última consulta 26 de octubre de 1998].
- Jáuregui, E. 2003. Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico, **Atmósfera**, pp. 193-204.
- Jáuregui, E. 1987. Vulnerabilidad de las costas del NW de México a los ciclones tropicales del Pacífico nororiental. **Memorias del III Simposio Internacional sobre Emergencias Urbanas**, La Paz, BCS, Noviembre, pp. 9-18.
- Jiménez E. M., 1997, *Programa de ajuste de funciones de probabilidad*, versión 1.05, Cenapred, México.
- Jiménez, M., Matías, L., Fuentes, O. y R. Prieto. 2007. **Ciclones tropicales**. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, pp. 52.
- Matías, L. 2000. **Algunos efectos ambientales generados por las perturbaciones tropicales del Pacífico Mexicano. Un caso de estudio: El Huracán Pauline en Acapulco, Gro.** Tesis de Maestría en Geografía, México, p.125.

- NOAA, 2012. **Ciclones tropicales**. Guía de preparación. Departamento de Comercio de los EE.UU. Agencia Nacional del Océano y la Atmósfera. Servicio Nacional de Meteorología. Junio, pp. 12.
- NOAA-WXP, 2010. **Trayectorias de ciclones tropicales** disponible en <http://weather.unisys.com/surface/>
- NOAA-AOML, 2009. **Winds fields of hurricane Jimena**. Hurricane Research Division. Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory. National Oceanic & Atmospheric Administration. En http://www.aoml.noaa.gov/hrd/data_sub/wind.html, [última consulta 1 de abril de 2013].
- NOAA, 2001. **Imagen del satélite GOES 10, canal visible a 2 km**, Huracán Juliette. <http://www.nhc.noaa.gov/satellite.php>, [última consulta 25 de septiembre de 2001].
- NHC, 2011. **Tropical Cyclone Reports Eastern Pacific**. Data Archive. <http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>. [última consulta: 20 noviembre de 2011].
- Pielke, R., Jr and Pielke R, Sr. 1997. **Hurricanes: Their nature and impacts on society**. John Wiley & Sons, England, pp. 297.
- Rosendal, H. 1962. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1947-63, **Mariners Weather Log**, Vol. 6, pp. 195-201.
- Rosengaus, M. 2002. **Atlas climatológico de ciclones tropicales en México**. CENAPRED, pp. 106.
- Serra, S. 1971. Hurricanes and tropical storms of the west coast of Mexico. *Monthly Weather Review*, 99, pp. 302-308.
- Shore Protection Manual**, 1984. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, US Army Corps of Engineering, Washington DC 20314.
- Springall, G. R., 1975. **Estudio y análisis estadístico del oleaje generado por huracanes en el sureste del Golfo de México**, Pub. No. 361, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- UEPC-Sinaloa, 2006. **Archivo fotográfico de los daños generados por el huracán Lane en el estado de Sinaloa**. Archivo interno de la Unidad Estatal de Protección Civil de Sinaloa.
- Wiegel R. L., 1964. **Oceanographical Engineering**, Prentice-Hall Series in Fluid Mechanics, U.S.A.

CAPÍTULO 3. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO MEXICANO

3.1 INTRODUCCIÓN

En un ciclón tropical existen cuatro elementos capaces de generar un desastre por sí mismos, o por la combinación entre ellos y son: el viento, el oleaje, la marea de tormenta y las lluvias intensas. En el presente trabajo sólo se analizan las precipitaciones generadas por los ciclones, por ser el factor detonante de las inundaciones, procesos gravitacionales y daños en los asentamientos humanos; sin embargo, éstas tienen un beneficio para la agricultura en la República Mexicana, especialmente en los distritos de riego del noroeste.

Las precipitaciones intensas que acompañan a un ciclón son un elemento peligroso, la cantidad de lluvia no depende de la intensidad del fenómeno, por ejemplo, una depresión o tormenta tropical pueden generar tanta lluvia como un huracán intenso categoría 3 o mayor, y causar por este fenómeno un verdadero desastre. Como sucedió en octubre de 1999, con la depresión tropical número once del golfo de México que originó más de 420 mm en 48 horas sobre la Sierra Norte de Puebla (Lugo, *et al.*, 2002).

Mientras que en el Pacífico, el huracán Jimena categoría IV afectó el noroeste del país durante la primera semana de septiembre de 2009, donde se registraron 514.9 mm en 24 horas en Guaymas, Sonora cifra que superó el récord histórico que poseía el huracán Gilbert con 485 mm en Santa Catarina, Nuevo León sobre los efectos directos de un huracán en tierra firme en México. Cabe mencionar que la precipitación ocurrió cuando el ciclón se encontraba a una distancia de 550 km de la estación (SMNc, 2010 y Beven, 2010).

Con base en lo anterior en la cuenca del Pacífico nororiental durante el mes de septiembre ocurre la mayor precipitación (García, 1965), la cual está asociada a la presencia de los ciclones tropicales por ser el mes de mayor frecuencia (Mosiño y García, 1974), donde se llegan a presentar registros mayores que 320 mm (UNAM, 2007) (Figura 3.1).

Figura 3.1 Precipitación más frecuente del mes de septiembre



Fuente: UNAM, 2007

3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACIÓN DE LOS CICLONES

La cantidad de lluvia producto de un ciclón tropical depende fuertemente de la velocidad de traslación de éste; por ejemplo, si está estacionario o se mueve lento y errático, la cantidad de precipitación por intervalos pueden ser significativa y originar un desastre (Court, 1980). En México el huracán Roxanne en octubre de 1995 permaneció estacionario durante más de tres días en la Sonda de Campeche y generó 305 mm en 36 horas en Veracruz (Lawrence, *et al.*, 1998).

Otro factor que distribuye la lluvia de un ciclón es la topografía. En las zonas montañosas aumenta considerablemente la precipitación por el efecto orográfico dejando el aire saturado de humedad en las laderas de la montaña (Farfán, 1997 y 2001). Situación que en México es

muy frecuente porque la planicie costera del Pacífico es muy estrecha y se encuentra de inmediato los sistemas montañosos, por ello si algún fenómeno se acerca a las costas del país, su humedad se presenta en las zonas altas, como ocurre normalmente en la temporada de ciclones, por ejemplo, el huracán Pauline en octubre de 1997 afectó las montañas del sur de Guerrero y del oriente de Oaxaca. En tanto que, el huracán Nora en 2000 impactó en el sur de la península de Baja California, donde sus montañas presentan una orientación de sureste a noroeste, una longitud de 1200 km y presenta una elevación máxima de 1000 m, dicho sistema tiene un papel importante al momento de que un ciclón atraviesa la península.

3.3 UMBRAL DE DISTANCIA PARA DEFINIR LA PRECIPITACIÓN ASOCIADA A LOS CICLONES TROPICALES

Para determinar el radio de la distancia donde ocurre la precipitación asociada a los ciclones tropicales, se revisaron diferentes trabajos de investigación entre los que destaca el de Serra (1971), en el cual menciona la distancia de 370 km como el radio de afectación de una tormenta para la costa del Pacífico mexicano. Los límites de frontera fuera de la línea de costa, y en las estaciones del interior, las cuales frecuentemente experimentan lluvias intensas con eventos de tormenta tropical; por ejemplo, en algunas estaciones de Baja California, la precipitación está asociada con estos fenómenos. La importancia de la lluvia estacional durante la temporada de ciclones en la región del noroeste de México, depende de la irrigación y muchos de los éxitos de las cosechas en el área dada están limitados por ésta.

La intensidad de la lluvia se define simplemente como la precipitación diaria que se incorpora a la temporada ciclónica, dicha intensidad es substancialmente alta a la correspondiente lluvia no generada por ciclones. Aunque los conceptos iniciales de las trayectorias de los ciclones relacionados con la distancia hacia una estación (por ejemplo, >370 km) están frecuentemente marcadas por cero o por precipitaciones ligeras.

Es importante mencionar que, se entiende por lluvia de cuenca propia a aquella precipitación que se acumuló en un lugar determinado de la cuenca; la que al alcanzar un nivel del agua mayor a 25 cm forma una inundación de tipo pluvial.

En el estudio de Englehart y Douglas (2001), se menciona que a partir de 550 km de distancia del centro del ciclón tropical a una estación climatológica existe una precipitación asociada a estos fenómenos, los autores sugieren que esta condición depende del estado de desarrollo y de las características físicas de los ciclones, así como de la influencia de la topografía local, por ejercer un dominio en la precipitación. Además encontraron que en el 90% de los casos, la distancia entre el centro del ciclón y el borde exterior de su nube escudo es inferior a 550-600 km.

Por otra parte, Larson *et al.*, (2005) indican que la lluvia asociada a ciclones se encuentra dentro de un radio de cinco grados, equivalente a 550 km y que el mes de septiembre es cuando ocurren los mayores porcentajes de precipitación total asociados a estos meteoros, los resultados están en función del número de días en que el ciclón permaneció cerca del territorio, es decir, significa el número de días que los ciclones se acercaron a menos de 5 grados en un punto determinado de México.

La precipitación media asociada a ciclones es superior al 10% durante septiembre y a lo largo de la costa suroeste del país. Mientras que, la precipitación máxima mensual asociada a ciclones en un mes en particular ha sido mayor al 100% de la lluvia mensual en muchas zonas costeras, especialmente durante septiembre y octubre. Uno de sus resultados indica que la actividad de ciclones en el Pacífico nororiental bajo condiciones de El Niño trae mayores precipitaciones que el fenómeno de La Niña.

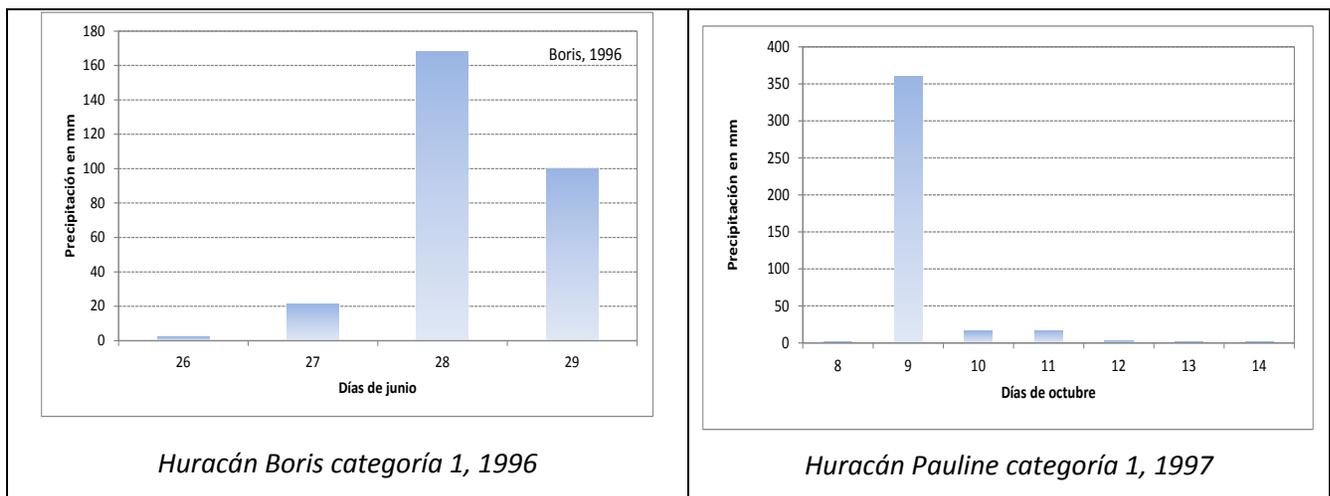
En tanto que, Corbosiero *et al.*, (2009) seleccionaron el umbral de 600 km, debido a que representa la distancia entre la frontera de México y Estados Unidos.

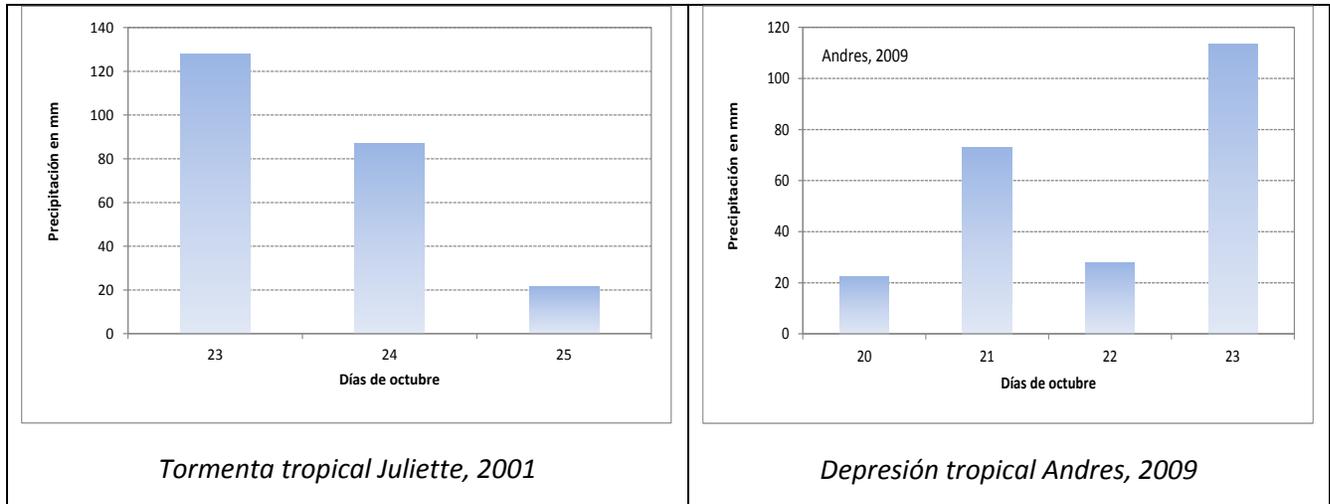
Finalmente, Cavazos *et al.*, (2008) analiza las tendencias de precipitación asociadas a ciclones tropicales para el noroeste de México, donde utiliza el criterio de 550 km como la distancia que existe para determinar la influencia de los ciclones y la lluvia.

Con base en el trabajo de los autores antes mencionados para el análisis de lluvia se utiliza la distancia de 550 km como un criterio general para definir el radio de influencia de la precipitación asociada a ciclones tropicales. Por ejemplo, la lluvia diaria que se genere por una tormenta tropical y a la vez se encuentre cerca de un radio de 550 km de una estación se dice que es una precipitación originada por un ciclón tropical, mientras que aquella lluvia que ocurre en ausencia del ciclón, es decir, cuando la tormenta está más allá de los 550 km de distancia de la estación, se considera como la precipitación no generada por un ciclón tropical.

La evaluación del estudio de la precipitación generada por ciclones tropicales, se tiene a partir de dos niveles de análisis *evento y frecuencia*. Ambos se refieren a la precipitación que ocurre durante la estación de ciclones (mayo a noviembre). El nivel correspondiente al evento individual del ciclón tropical que pasa cerca de un radio de 550 km de una estación, la precipitación total para cada evento comprende de 2 a 4 días, dependiendo de la trayectoria del ciclón; sin embargo, las lluvias extraordinarias pueden ocurrir en uno o dos días (Figura 3.2).

Figura 3.2 Histograma de precipitación diaria para algunos ciclones que pasaron a menos de 550 km de distancia del observatorio de Acapulco, Guerrero





Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013

Como se aprecia en las figuras anteriores, la precipitación que ocurre en una estación u observatorio puede ser extraordinaria y presentarse en un solo día; por ejemplo, el 9 de octubre de 1997, el huracán Pauline generó 360 mm y se encontraba a 82 km de distancia de Acapulco, donde las lluvias torrenciales se intensificaron localmente por la topografía del lugar. Mientras que, la tormenta tropical Juliette en 2001, se localizó a 286 km de distancia del mismo sitio; sin embargo, en dos días se acumularon 214.9 mm.

3.4 DATOS Y METODOLOGÍA

Para la elaboración de la base de datos de precipitación asociada a ciclones tropicales, se seleccionó a las estaciones climatológicas que cumplieran con ciertos requisitos, 1) que las estaciones estuvieran localizadas en diferentes pisos altitudinales con el propósito de conocer la distribución de la lluvia en varias formas de relieve, debido a que este factor determina que en ciertos sitios se concentre una mayor cantidad de agua en comparación con otros y 2) los registros de precipitación fueran de días continuos para la misma estación, además de contar con datos de más de 30 años.

Con base en los criterios anteriores se obtuvieron los datos de diferentes fuentes; es decir, se utilizaron cuatros formatos distintos, por lo que fue necesario establecer un procedimiento para

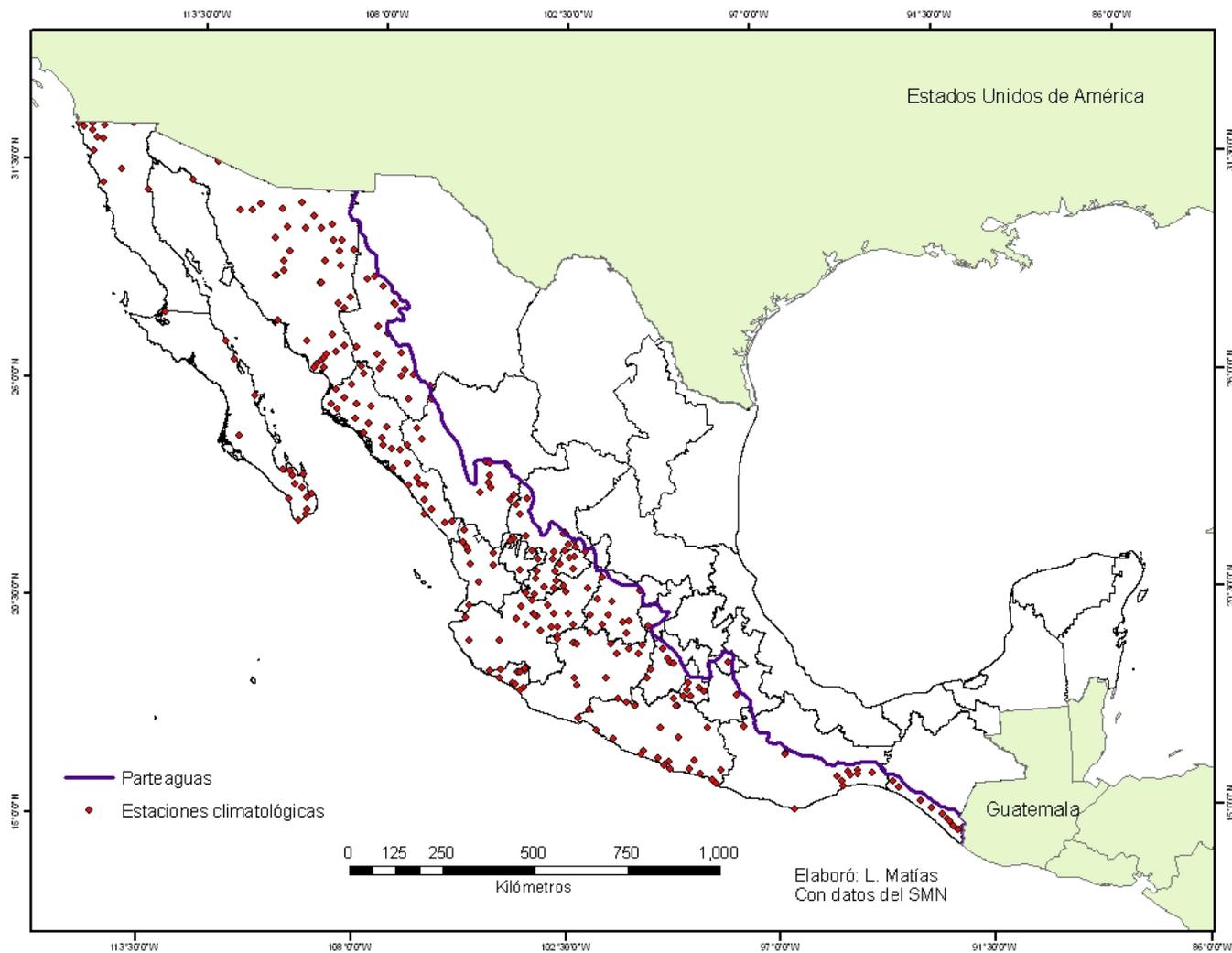
la revisión de los mismos. Para ello se programaron algunas macros en el lenguaje Visual Basic para Aplicaciones, corriendo dentro de Microsoft Excel, debido a la gran cantidad de registros individuales (600,000), su extracción de los distintos formatos en los que estaban ordenados en los archivos de las fuentes originales, así como su selección, ordenamiento y análisis estadístico.

Los datos del formato 1 son los observatorios meteorológicos de la Comisión Nacional del Agua, el formato 2 son registros del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III), el formato 3 son del Clima computarizado (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional y el formato 4 de las estaciones meteorológicas de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR). La mayoría de los registros abarcan el periodo de 1970 al 2010; sin embargo, en algunos casos (9.3%) hubo datos con años anteriores; es decir, de los años treinta, cuarenta y sesentas, pero sólo llegaron al 2003.

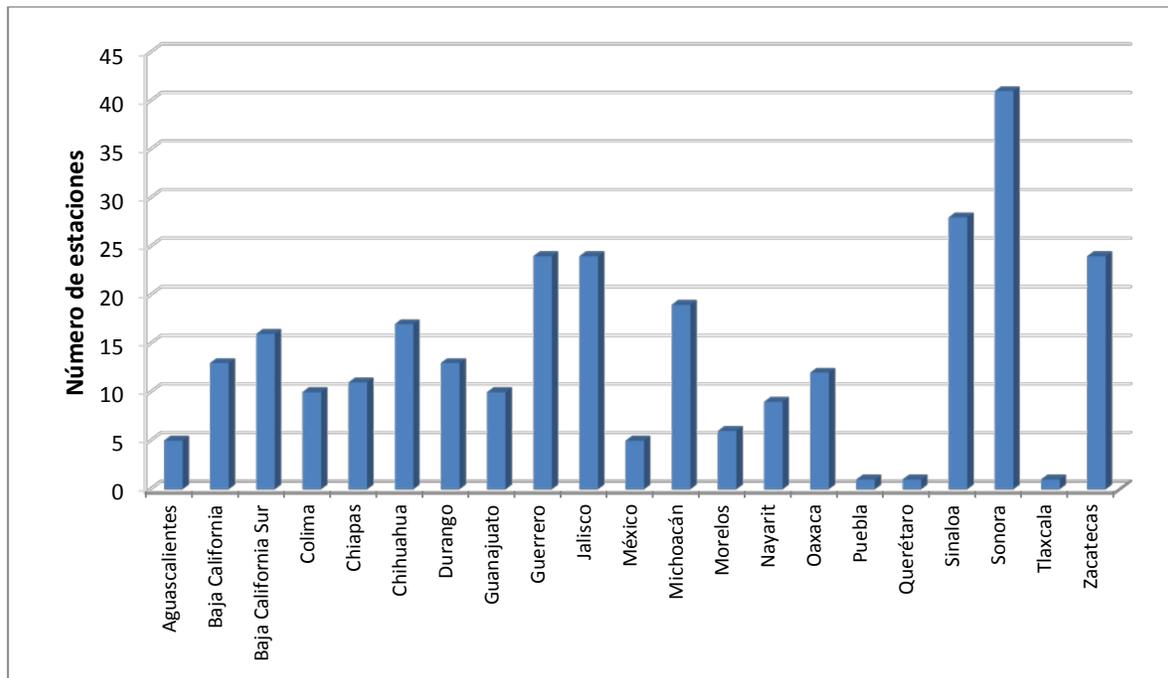
Una vez obtenidos los cuatro formatos se unieron para completar la serie de tiempo para cada estación, sin embargo, había datos para las mismas fechas en algunos de los formatos, la mayoría de ellas coincidencias, pero se detectaron diferencias y se revisaron una por una, con el propósito de identificar el dato correcto.

Con base en lo anterior se formó una red de 290 estaciones climatológicas, las cuales cubren del parteaguas continental hacia la vertiente del océano Pacífico, y aparecen en la Figura 3.3, donde 102 estaciones se encuentra a menos de 200 msnm; es decir, sobre la planicie costera del Pacífico y 34 se localizan sobre los 2000 msnm, el resto está en los valles intermontanos.

Cabe mencionar que existe una desigual distribución espacial en las estaciones, por ejemplo, en Puebla, Querétaro y Tlaxcala sólo se contó con una estación, debido a que no se obtuvieron datos de los años más recientes y este criterio fue determinante para incluir sólo a las estaciones seleccionadas. En cambio, Sinaloa y Sonora concentran 41 y 28 estaciones, respectivamente (Figura 3.3).

Figura 3.3 Localización de estaciones climatológicas utilizadas en el análisis

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013

Figura 3.4 Distribución estatal de las estaciones climatológicas

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

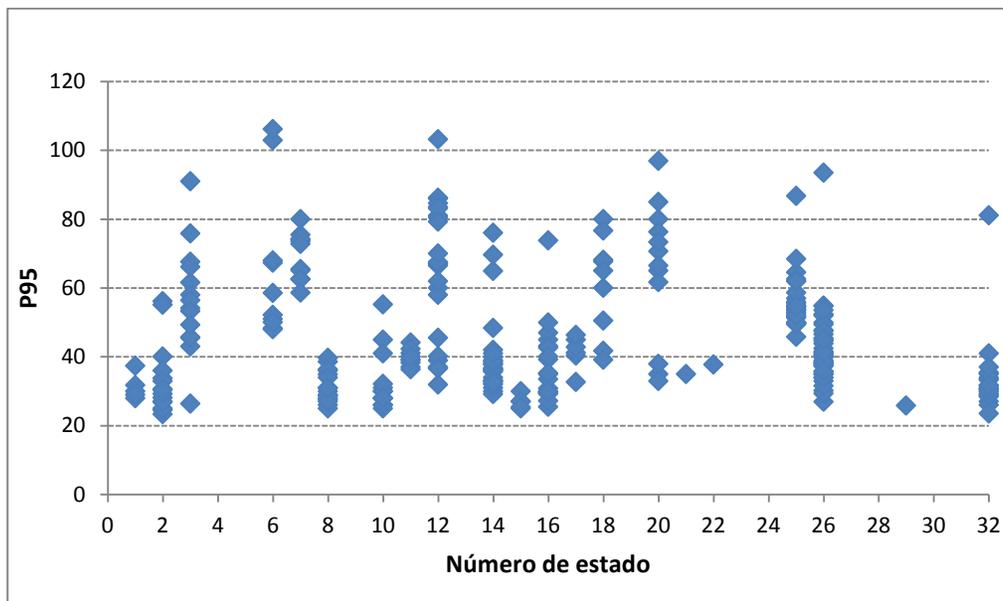
La información se depuró con base en la selección de registros completos y en verificar si los datos extraordinarios eran compartidos por estaciones cercanas, y si correspondían a la presencia de ciclones. Para este paso se utilizó la base de datos de ciclones tropicales obtenida en el capítulo anterior.

Inicialmente se procesaron los datos de lluvia con valores mayores de cero y se eliminaron los registros de no dato. Una vez ordenados los datos de lluvia se utilizó el criterio de Cavazos, *et al.*, (2008) que indican eliminar los datos menores que 1 mm, debido a que en la serie de tiempo había muchos días con el valor de 0.001 que para el análisis de este trabajo no representa un valor significativo, porque alteraban sensiblemente los resultados estadísticos.

3.5 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE PELIGRO POR PRECIPITACIÓN ASOCIADA A CICLONES TROPICALES

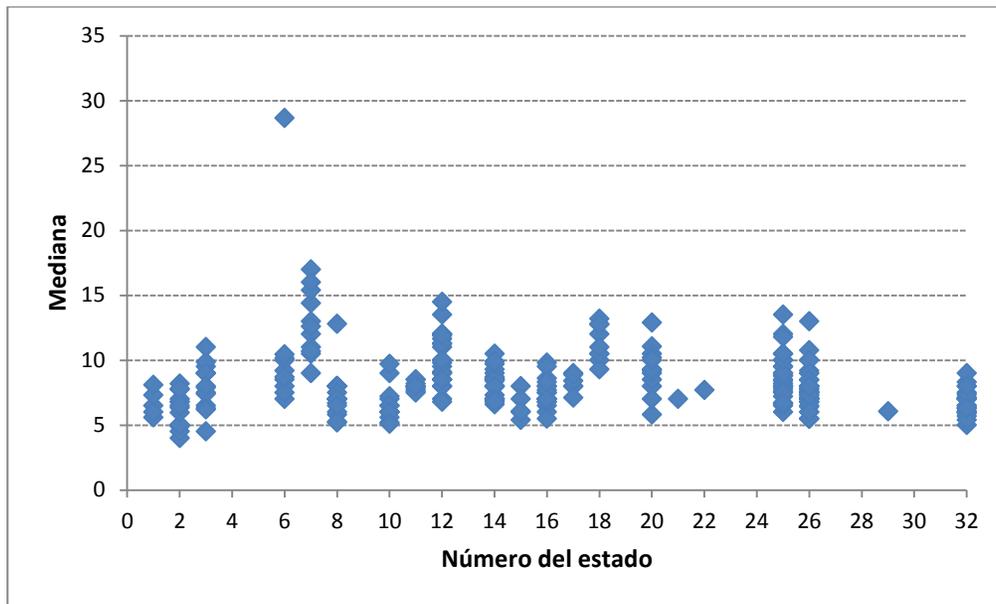
Para obtener el índice de peligro, se utilizó el percentil 95 de los registros diarios con lluvia, que indica el dato de lluvia acumulada en un día bajo el cual caen el 95% de las observaciones, es decir, que arriba de este valor se presentan las máximas precipitaciones de todo el registro histórico, teniendo un cinco por ciento de probabilidad de presentarse en el periodo de registro (Figura 3.3). Además se calcularon las características estadísticas para cada una de las estaciones como la mediana, la media (el promedio aritmético), la desviación estándar, además de los valores mínimo y máximo (Figuras 3.5 a la 3.10).

Figura 3.5 Distribución estatal del percentil 95 para cada una de las estaciones



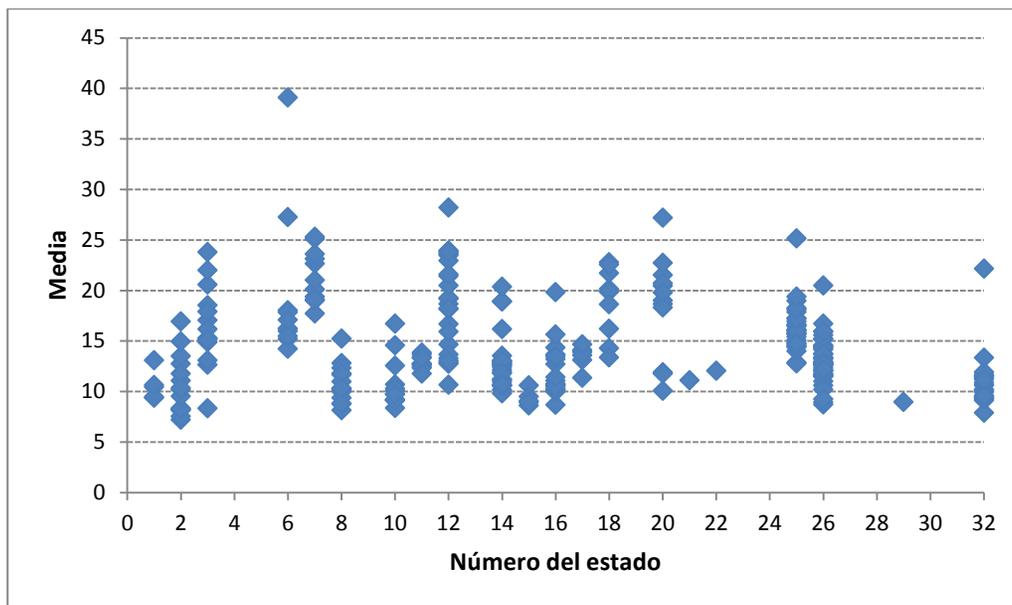
Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Figura 3.6 *Distribución estatal de la mediana para cada una de las estaciones*

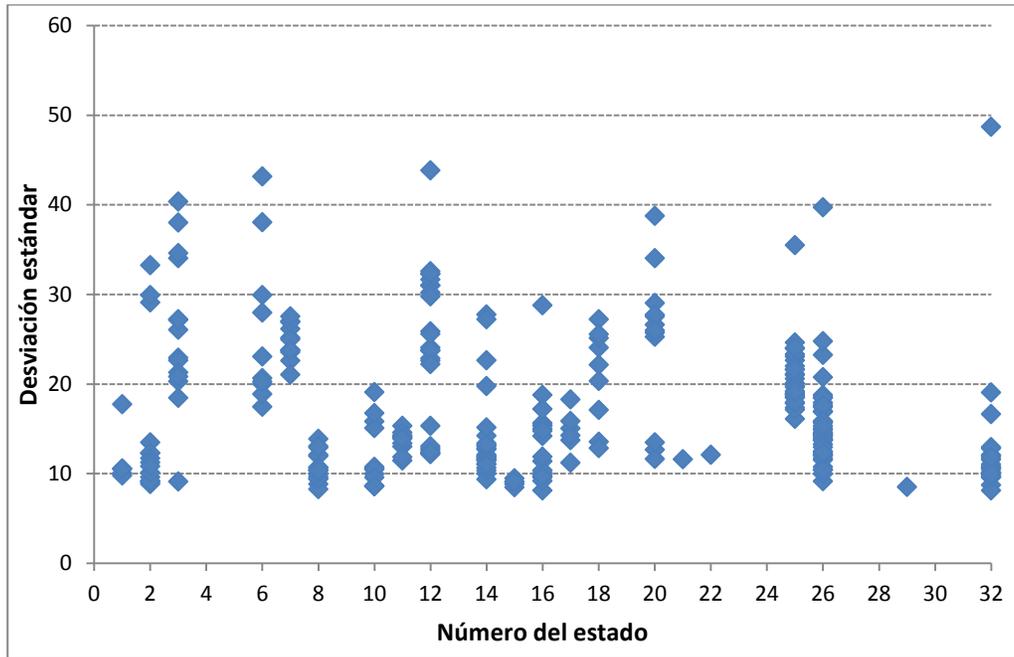


Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

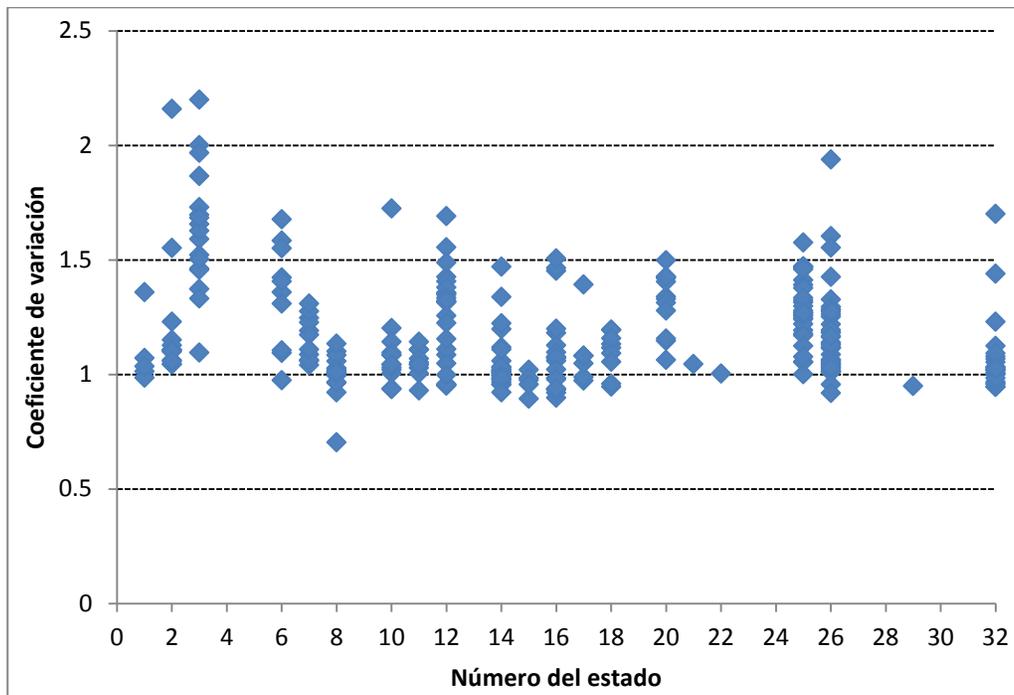
Figura 3.7 *Distribución estatal de la media para cada una de las estaciones*



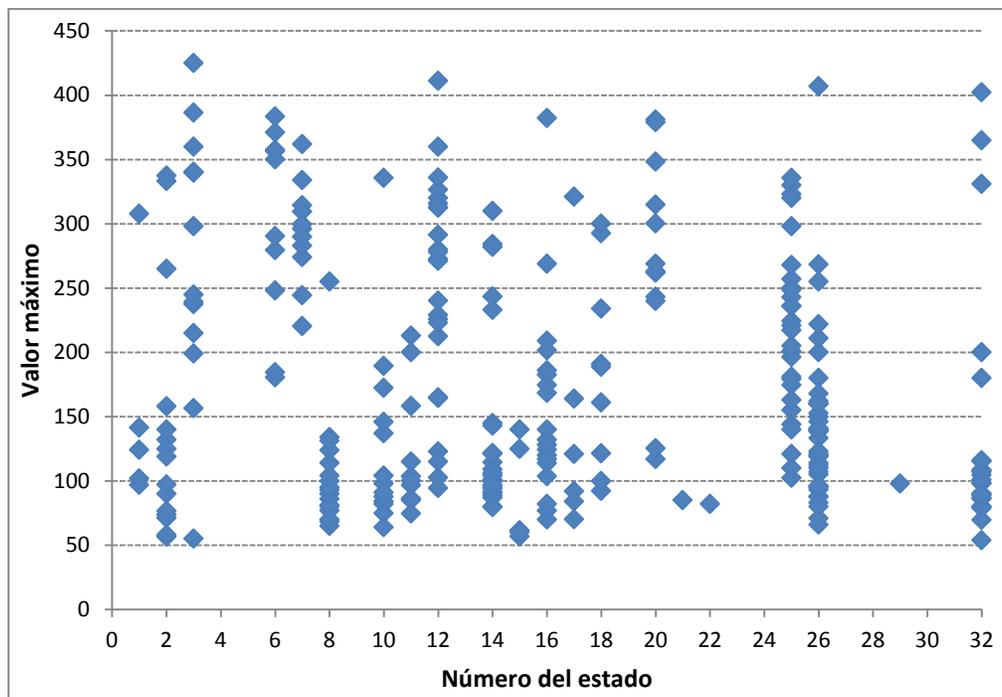
Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Figura 3.8 Distribución estatal de la desviación estándar para cada una de las estaciones

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Figura 3.9 Distribución estatal del coeficiente de variación para cada una de las estaciones

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Figura 3.10 Distribución estatal del valor máximo para cada una de las estaciones

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Como un caso de ejemplo se muestra en la Tabla 3.1 el resumen de los datos calculados para las estaciones de Colima, el cual presenta el máximo valor respecto al percentil95 (Figura 3.5).

En la Tabla 3.2 se presentan las mismas estaciones de Colima pero con los datos de lluvia acumulada en tres días y causada por ciclones tropicales. Como se explicó el criterio fue que en la fecha del segundo de los tres días existiera un ciclón tropical a no más de 550 km de la respectiva estación.

En ambas tablas se incluye el número de años de registro con la finalidad de determinar la frecuencia de los eventos de lluvia superiores al P95, calculando del periodo de retorno (T_r) de dichos eventos como el cociente los años de registro entre el número de observaciones arriba del P95. Como se sabe, éste indica el tiempo que, en promedio, se repite el evento (lluvia mayor que el P95).

Tabla 3.1 Percentil P95 de las precipitaciones anuales en el estado de Colima

| Clave | Estación | P95 | TrP95 años | PreMáx mm | Tr años |
|-------|----------------------|------|------------|-----------|---------|
| 6001 | ARMERÍA | 67.3 | 1.6 | 371.0 | 61 |
| 6002 | BUENAVISTA | 48.3 | 1.2 | 248.0 | 74 |
| 6003 | CALLEJONES | 51.0 | 1.3 | 357.5 | 63 |
| 6005 | CERRO DE ORTEGA | 68.0 | 1.4 | 350.0 | 51 |
| 6008 | COQUIMATLÁN | 48.0 | 1.1 | 356.5 | 64 |
| 6023 | TECOMÁN | 58.6 | 1.3 | 279.5 | 58 |
| 6041 | CUAUHTÉMOC | 52.2 | 2.0 | 180.6 | 52 |
| 6054 | MANUEL ÁVILA CAMACHO | 50.1 | 1.2 | 290.4 | 36 |

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

Tabla 3.2 Percentil P95 de la precipitación ciclónica acumulada en 3 días, para Colima

| Clave | Estación | P95 | TrP95 años | PreMaxAcum mm | Tr años |
|-------|----------------------|-------|------------|---------------|---------|
| 6001 | ARMERÍA | 271.2 | 15.3 | 492.6 | 61 |
| 6002 | BUENAVISTA | 160.6 | 4.5 | 273.1 | 71 |
| 6003 | CALLEJONES | 209.4 | 7.7 | 542.0 | 63 |
| 6005 | CERRO DE ORTEGA | 364.0 | 12.8 | 595.0 | 51 |
| 6008 | COQUIMATLÁN | 174.4 | 5.8 | 372.4 | 64 |
| 6023 | TECOMÁN | 250.2 | 8.6 | 548.0 | 58 |
| 6041 | CUAUHTÉMOC | 149.2 | 6.2 | 201.8 | 52 |
| 6054 | MANUEL ÁVILA CAMACHO | 181.0 | 3.0 | 393.9 | 34 |

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013 y GASIR, 2013

3.6 ÍNDICE DE PELIGRO

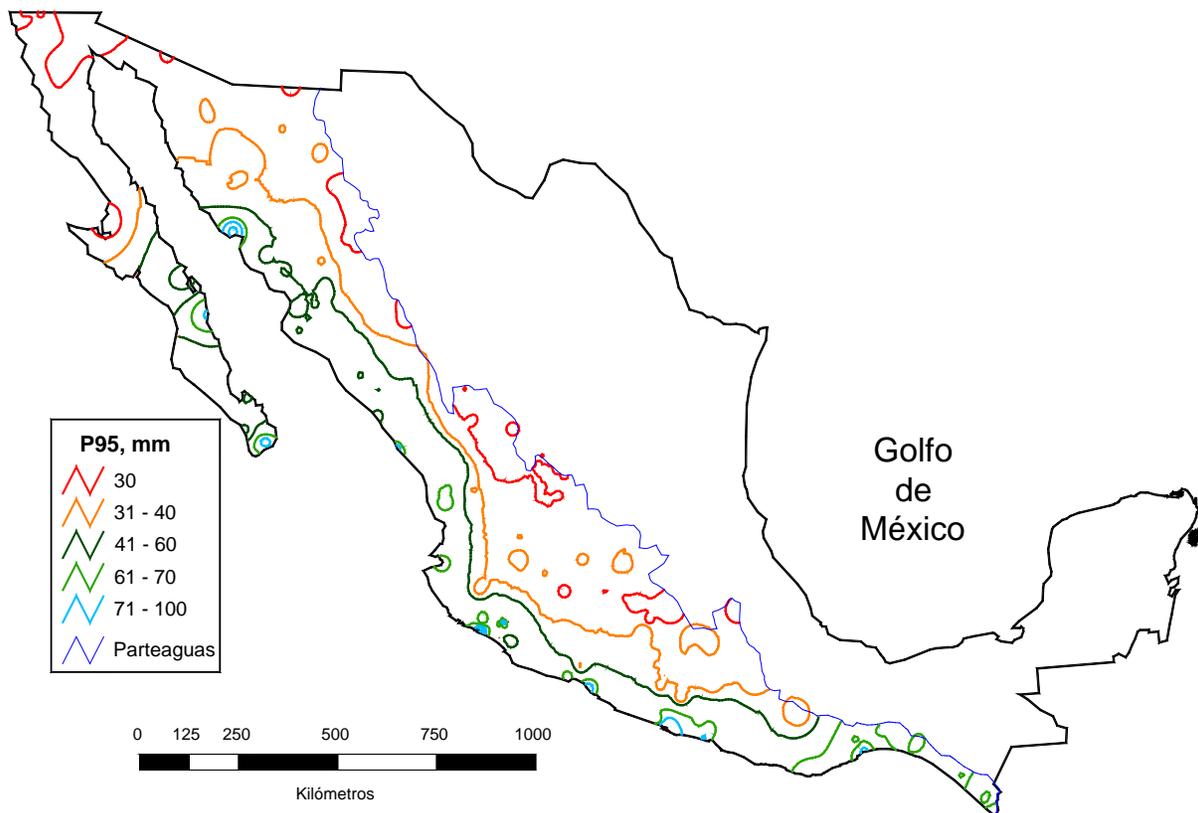
Para realizar el estudio de riesgo es necesario establecer el peligro, la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas en estudio. El peligro está relacionado con el fenómeno perturbador (amenaza) y se deberá expresar en términos probabilísticos. En este trabajo se consideró la intensidad de la precipitación asociada a ciclones como el factor de peligro y se seleccionó trabajar con el percentil 95 (P95) como criterio para considerar eventos extremos de lluvia.

Con la finalidad de obtener un índice cualitativo de riesgo, que permita comparar esta característica entre las unidades geográficas (nivel municipal), se definió el índice de peligro como el cociente del P95 de cada estación entre el valor máximo de los P95 de todas las estaciones estudiadas en la cuenca del Pacífico:

$$I_{p,i} = \frac{P95_i}{P95_{máx}} \quad (3.1)$$

Estos valores se obtuvieron para las 290 estaciones siendo el siguiente paso la determinación de los índices a nivel municipio que es la unidad geográfica de trabajo. Una opción para obtener los valores para cada municipio era interpolar los datos puntuales de las estaciones. Sin embargo, se optó por definir simplificadaamente un índice de peligro general por estado calculado con el promedio de los índices de las estaciones en cada entidad federativa (Figura 3.11).

Figura 3.11 Isoyetas del percentil 95 en mm



Elaboró: L. Matías

Fuente: Elaboración propia con base en SMNa, 2013

3.7 CONCLUSIONES

El método propuesto en este trabajo consideró que la lluvia asociada a los ciclones tropicales se presenta cuando el meteoro está a menos de un radio de 550 km de distancia de la vertiente del Pacífico nororiental; sin embargo, ésta puede ser significativa si el ciclón se encuentra más cerca del territorio. Esto se comprobó al revisar las trayectorias de los ciclones para cada una de las 290 estaciones climatológicas analizadas en el periodo de mayo a noviembre de 1970 al 2010.

De las precipitaciones registradas se obtuvo el índice de peligro, donde los valores máximos se encontraron en el estado de Colima, Guerrero y Oaxaca. Por ejemplo, en 1999 ocurrió el ciclón Greg que dejó una lluvia acumulada de 419.4 mm en tres días en la estación Manzanillo, Colima. Mientras que en Guerrero el registro más alto está asociado con el huracán Pauline de 1997, en el observatorio de Acapulco se registraron 401.3 mm durante cuatro días. Es importante mencionar que el registro máximo de lluvia para este ciclón se obtuvo en la estación de Acapulco con 411.2 mm en 24 horas.

Las lluvias intensas están asociadas con los ciclones que se presentan cerca de la costa o sobre las zonas de montaña, principalmente en los meses de septiembre y octubre; sin embargo, mientras más tarda en iniciar la temporada es menor la precipitación en el oeste de México, las cuales pueden ser vitales para la economía agrícola de la región e, incluso, del país.

3.8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beven, J. 2010. *Tropical Cyclone Report Hurricane Jimena*, 28 agos-4sep de 2009, National Hurricane Center, 29 de enero de 2010, pp. 15.

Cavazos, T., C. Turrent and D. Lettenmaier. 2008. Extreme Precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the North American monsoon. *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, L21703, doi:10.1029/2008GL035832.

Corbosiero, K., M. Dickinson y L. Bosart. 2009. The contribution of Eastern North Pacific Tropical Cyclones to the Rainfall Climatology of the Southwest United States. *Monthly Weather Review*, Vol. 137, August, pp. 2415-2435.

- Court, A. 1980. ***Tropical cyclone effects on California***. NOAA Technical Memorandum NWS WR-159, US. Department of Commerce, Salt Lake City, Utah, October, pp. 41.
- Englehart, P. J. and A. Douglas, 2001: The role of Eastern North Pacific tropical storms in the rainfall climatology of western Mexico. ***Int. J. Climatol.***, 21, pp. 1357–1370.
- Farfán, L., R. Romero y G. Raga. 2012. Observations and forecasts the landfall of tropical cyclones John, Lane and Paul (2006) over northwestern Mexico. ***Weather and Forecasting***, Vol.27, December, pp. 1373-1393.
- Farfán, L. and J. Zehnder. 2001. An analysis of the Landfall of hurricane Nora (1997). ***Monthly Weather Review***, Vol. 129, August, pp. 2073-2087.
- Farfán, L. and J. Zehnder. 1997, Orographic Influence on the Synoptic-Scale Circulations associated with the Genesis of Hurricane Guillermo (1991). ***Monthly Weather Review***, Vol. 125, October, pp. 2683-2698.
- García, E. 1965. ***Distribución de la precipitación en la República Mexicana***. Publ. Inst. de Geografía, UNAM, México, pp. 171-191.
- GASIR, 2013. Datos diarios de lluvia, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.
- IMTA, 2006. Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) versión 2.0, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Jáuregui, E. 2003. Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. ***Atmósfera***, 16, pp. 193-204.
- Larson, J., Y. Zhou y R. Wayne. 2005. Characteristics of Landfalling Tropical Cyclones in the United States and Mexico: Climatology and Interannual Variability. ***American Meteorological Society***, Vol. 18, abril, pp. 1247-1262.
- Lawrence, M., B. Mayfield, L. Avila, R. Pash and E. Rappaport. 1998. Atlantic Hurricane Season of 1995. ***Monthly Weather Review***. Vol. 126, pp. 1124-1151.
- Lawrence M., L. Avila, J. Beven, J. Franklin, R. Pash and S. Steward. 2001. ***Monthly Weather Review***, Vol.129, pp. 3004-3014.

- Lugo, J., Vazquez M., Zamorano J., Matías G. y A. Gómez. 2002. El huracán Pauline en Acapulco, octubre de 1997, ***Desastres Naturales en América Latina***, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 267-288.
- Mosiño, A. y E. García, 1974. The climates of Mexico. In the ***Climates of North America***, World Survey of Climatology. Elsevier Publ. CO. Amsterdam, Holanda.
- Rosendal, H., 1962. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1947-1963; ***Mariners Weather Log***, Vol, 6, pp. 195-201.
- Rodgers, E. y F. Adler, 1981. Tropical cyclone rainfall characteristics as determined by satellite radiometer, ***Monthly Weather Review***, No. 109, pp.506-521.
- Serra, S. 1971. Hurricanes and tropical storms of the west coast of Mexico. ***Monthly Weather Review***, 99, pp. 302-308.
- SMNa, 2013. Datos de precipitación diaria. Archivo interno del Servicio Meteorológico Nacional.
- SMNb, 2005. Registros del Clima computarizado (CLICOM), Servicio Meteorológico Nacional.
- SMNc, 2010. ***Reseña huracán Jimena***, Servicio Meteorológico Nacional, Subgerencia de Pronóstico Meteorológico, pp. 16.
- UNAM, 2007. ***Nuevo Atlas Nacional de México***, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Carta NA.IV.10. Moda de la lluvia mensual, III.

CAPÍTULO 4. VULNERABILIDAD ANTE CICLONES TROPICALES EN MÉXICO

4.1 INTRODUCCIÓN

Como en la mayoría de los desastres, la naturaleza de los ciclones requiere de una observación continua de sus efectos sobre la salud pública y seguridad de la población. Los daños más frecuentes son las muertes y lesiones que se presentan, como electrocutados por humedad o cables sueltos, heridas por limpieza y quemaduras por incendios desatendidos. Aunque los daños a la propiedad (vivienda) se han incrementado considerablemente en décadas recientes, los decesos se han reducido, debido a un mejor pronóstico, sistemas de alarma, evacuación y albergue de las comunidades en riesgo.

El objetivo principal de este capítulo es presentar elementos claves sobre la vulnerabilidad de la población, principalmente en las dimensiones física y social, y sus interacciones ante los ciclones tropicales, que ayuden a evidenciar los retos del desarrollo del país.

4.2 ELEMENTOS QUE AFECTAN LA OCURRENCIA Y SEVERIDAD DE LOS CICLONES TROPICALES

Los elementos que conforman los ciclones pueden llevar a lesiones directas o daños a las personas y viviendas, por ejemplo, los vientos con velocidades superiores a 250 km/h causan colapso estructural o lanzan al aire escombros como si fueran proyectiles de alta velocidad. Por otra parte, las lluvias torrenciales de hasta 762 mm en varios días, pueden generar inundaciones repentinas y corrientes de lodo (National Research Council, 1994). También se han observado marejadas con elevaciones anormales de agua formadas por un huracán, las cuales están por encima de las mareas astronómicas, duran varias horas y generalmente afectan alrededor de 160 km de la línea de costa (Alexander, 1993).

Los ciclones pueden acompañarse de fenómenos secundarios que pueden crear o exacerbar riesgos nuevos o existentes, como los deslizamientos de tierra o lodo. En octubre de 1985, la

tormenta tropical Isabel causó extensas inundaciones y deslizamientos en Puerto Rico, de un total de 127 muertes, el 78% estuvieron relacionadas con la tormenta y ocurrieron en un deslizamiento (Malilay, 1997). En México a principios de octubre de 1999, la depresión tropical número 11 del golfo de México generó extraordinarias precipitaciones que desencadenaron cientos de procesos gravitacionales en las laderas montañosas y afectaron varias poblaciones, entre ellas Teziutlán en Puebla, donde se presentaron más de un centenar de víctimas (Lugo *et al.*, 2001).

La morbilidad relacionada con los ciclones generalmente incluye traumas, enfermedades gastrointestinales y de la piel. El colapso estructural y el levantamiento de escombros por el viento ocasionan muchas lesiones durante la presencia de los ciclones. Particularmente, el trauma contundente, debido al colapso estructural que puede causar muertes durante la fase de impacto, por ejemplo, después de arribó del huracán Andrew en Florida ocurrieron muchas muertes relacionadas por la ocupación de las casas rodantes que fueron arrastradas por los vientos intensos. Otros decesos son por árboles que caen y quemaduras por incendios generados por cortos eléctricos que son reportados luego del paso del huracán. Los ataques cardiacos atribuidos al estrés, también ocurren en este momento.

4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MORTALIDAD Y LA MORBILIDAD A CAUSA DEL PASO DE LOS CICLONES

Los primeros estudios epidemiológicos se dirigieron al recuento descriptivo de las muertes y lesiones después de ciclones, principalmente aquellos relacionados con las marejadas, las intensas lluvias y los vientos violentos. En los Estados Unidos los pocos decesos atribuidos a huracanes son por el colapso de los techos de las viviendas. También hay pérdidas de vidas humanas causadas por ahogamiento como resultado de las marejadas. Mientras que, las lluvias intensas pueden originar inundaciones costeras y penetrar al interior del territorio causando inundaciones rápidas.

Existen factores sociales que influyen fuertemente en la mortalidad y morbilidad, tanto en los países desarrollados como en desarrollo, que incluyen el pobre diseño o construcción de las edificaciones, el tiempo insuficiente para las alertas y la evacuación, el rechazo a la evacuación y los albergues inadecuados, por ejemplo, los Estados Unidos de América han mejorado los códigos de construcción para la resistencia a los huracanes en los sitios propensos. En México existe una zonificación del nivel de daño esperado en viviendas para cada estado del país, donde se utiliza la velocidad máxima esperada dentro de cada estado, la cual se calcula con base en el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad y que fue mejorado en 2008, sin embargo, en ningún reglamento de construcción se considera el parámetro de la precipitación. A pesar de que en el país se encuentran 89 municipios costeros en 11 estados con vertiente al océano Pacífico.

Los patrones de uso del suelo también afectan la severidad del impacto de los ciclones. Aunque se conoce que las costas son susceptibles, los asentamientos sobre islas y otras localidades costeras han crecido en los últimos años y por lo tanto, la exposición de la población se ha incrementado, sobre todo aquélla que carece de conocimiento en la preparación ante huracanes. El problema es aún mayor durante los fines de semana, las festividades y en las vacaciones, cuando las poblaciones costeras se multiplican.

4.4 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN EXPUESTA A CICLONES

Durante las últimas décadas en México, la concentración de la población y la actividad económica ha disminuido en algunas regiones, principalmente en las zonas metropolitanas. Los flujos migratorios ya no son predominantemente campo-ciudad, sino que ahora existe una gran movilidad entre ciudades de diferente tamaño. Se crearon nuevos polos y regiones de crecimiento, existe una mayor participación de algunas ciudades y estados en la conducción de su desarrollo y un mejor aprovechamiento de los vínculos globales, sin embargo, persisten las carencias históricas en las zonas rurales y en las localidades aisladas. Mientras que en zonas urbanas, existe un aumento de la marginación y la pobreza; las desigualdades entre ciudades y localidades cada vez se acentúan más, y lo mismo sucede con las diferencias entre las entidades

federativas del país. Asimismo, el crecimiento urbano continúa siendo predominantemente irregular con consecuencias negativas sobre el medio ambiente y la ocupación de zonas de alto riesgo.

Dentro del contexto del riesgo y la vulnerabilidad que ha acompañado al desarrollo económico y la dinámica de los asentamientos humanos en el país, es importante definir estrategias y establecer prioridades para reducir el riesgo existente, así como también para evitar que nuevas inversiones y proyectos de desarrollo generen más y nuevas vulnerabilidades.

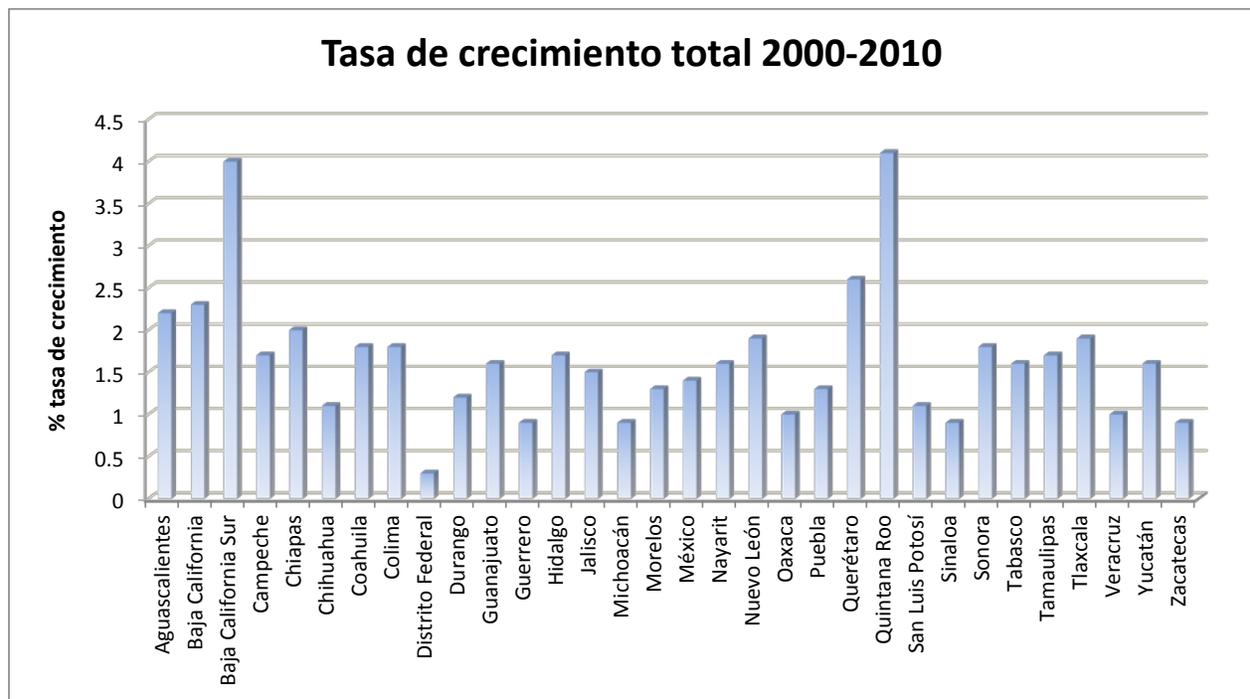
En los últimos 60 años la población del país ha crecido cinco veces hasta alcanzar los 112'336,538 habitantes en 2010, lo que sitúa a México como la undécima nación más poblada del mundo (INEGI, 2011a). La población de 2010 rebasó en más de 3 millones de habitantes (3.64%) las estimaciones de CONAPO de 2006, con este desfase se espera que en un par de décadas, la demanda de recursos por parte de la población sea mayor a la prevista.

De acuerdo con las cifras del Censo de Población y Vivienda 2010, en el país existen 192,241 localidades con viviendas habitadas, de las cuales cerca de 188 mil (98.1%) tienen menos de 2,500 habitantes y solamente once asentamientos superan el millón de habitantes. Por otra parte, aún existen 84,459 localidades que únicamente registran una o dos viviendas, lo que muestra el alto grado de dispersión y una fragmentación de una buena parte de la población rural.

En contraste, la alta dispersión de la población que habita en pequeñas localidades, la forma de los asentamientos humanos sobre el territorio marca una tendencia creciente hacia la urbanización. En la actualidad, en las localidades de más de 15 mil habitantes reside el 62.5% de la población total del país, mientras que el 14.3% se ubica en localidades entre 2,500 y 15 mil habitantes y, sólo el 23.2% vive en localidades de menos de 2,500 habitantes.

Los cambios más importantes registrados en la dinámica poblacional del país en el último cuarto de siglo, tienen que ver con dos grandes fenómenos demográficos: el descenso de las tasas de crecimiento natural de la población y la migración. Las tasas de crecimiento natural de la población han mantenido una tendencia hacia la baja, de manera similar ha ocurrido con el crecimiento total de la población a nivel nacional (Figura 4.1).

Figura 4.1 Tasa de crecimiento total para cada estado del país



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

Datos del INEGI indican que en 2005, más del 40% de los municipios del país registraron tasas negativas de crecimiento de la población. El mayor impacto de este proceso se encuentra en las regiones con una alta intensidad migratoria, donde se están acelerando los flujos de migrantes. Por ejemplo, regiones completas de la Mixteca han quedado prácticamente despobladas por efectos de la migración. Entre 1985 y 2000 la región expulsó a más de 100 mil personas con pérdidas demográficas que van del 5 al 60% en algunos municipios (Mansilla y Rubio, 2010).

La nueva forma de fuerte concentración de la población que se está produciendo en polos de desarrollo o con potencial de crecimiento, particularmente en el sector turístico, así como la expulsión de población urbana en ciudades importantes que tradicionalmente habían sido concentradoras, son muestra indudable de que el patrón de ocupación del territorio se está modificando en forma drástica y acelerada.

4.5 ÍNDICES DE VULNERABILIDAD EXISTENTES EN MÉXICO

Para la presente investigación se hizo una revisión de los índices de vulnerabilidad que existen en México, entre ellos destacan los del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, del Centro Nacional de Prevención de Desastres, de la Secretaría de Desarrollo Social, el del Consejo Nacional de Población y el de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

4.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL DEL IMTA

El Índice de vulnerabilidad social (IVS) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) que se publicó en 2010, indica que la vulnerabilidad es la susceptibilidad de una población, sistema o lugar dado para sufrir algún daño por exposición a una amenaza y que afecta directamente su capacidad de prepararse, responder y recuperarse de los desastres (IMTA, 2010).

Mientras que, la vulnerabilidad social tiene que ver con los factores demográficos y socioeconómicos que incrementan o atenúan los impactos de los eventos de riesgo en las poblaciones locales, es decir, la vulnerabilidad ayuda a definir quién está en riesgo y en qué grado puede verse afectado. Es un concepto central para prever y entender la existencia de impactos diferenciados en los distintos grupos de una sociedad, dado que son las características internas de los elementos expuestos a las amenazas que los hacen propensos de sufrir daños al ser impactados por éstas (Soares, *et al.*, 2010a).

El IVS se desarrolló con base en tres niveles:

- a) La definición temática y construcción de indicadores, con la clasificación de cada indicador de acuerdo con su condición de vulnerabilidad.
- b) La construcción de índices de vulnerabilidad temática,
- c) La construcción del índice de vulnerabilidad social definitivo.

a) Definición temática y construcción de indicadores

Con la información disponible, se seleccionaron 15 indicadores que se agruparon en cinco grandes temas que determinan la capacidad de desarrollo de una comunidad; empleo e ingreso, educación, salud, vivienda y población (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Indicadores seleccionados para el IVS

| Tema | Indicadores |
|------------------|--|
| Salud | Proporción de médicos por cada 1000 habitantes. |
| | Tasa de mortalidad infantil |
| | % de población no derechohabiente |
| Educación | % de analfabetismo |
| | Grado promedio de escolaridad |
| Vivienda | % de viviendas sin agua entubada |
| | % de viviendas sin drenaje |
| | Déficit de vivienda |
| | % de viviendas con piso y tierra |
| Empleo e ingreso | % de la PEA que recibe menos de 2 salarios mínimos |
| | Razón de dependencia |
| Población | Densidad de población |
| | % de población de habla indígena |
| | % de jefas de familia |
| | Dispersión de la población |

Fuente: IMTA, 2010

De los parámetros anteriores resulta importante distinguir que el IMTA, incorpora el porcentaje de las jefas de familia, debido a que las mujeres representan un elemento vital para la subsistencia familiar (Soares, *et al.*, 2010b).

Los datos utilizados por el IMTA fueron, el XII Censo de Población y Vivienda 2000 del INEGI, 2001; el índice de Marginación de CONAPO, 2001; y el Atlas de Salud del Instituto de Salud Pública (INSP), 2003.

Una vez definidas las variables que conforman cada tema, se obtuvieron los porcentajes de cobertura de cada uno de los indicadores seleccionados, a éstos se le asignó una calificación que señala la condición de vulnerabilidad de cada parámetro. El procedimiento de la evaluación fue el siguiente:

- A partir del porcentaje de cobertura de cada indicador se registró el valor mayor y menor, con la finalidad de determinar el rango existente entre ambos.
- Se divide este rango entre el número de categorías en que se delimita la condición (cinco), con ello se obtuvo el valor que definió el intervalo de cada nivel de vulnerabilidad.
- Para la primera condición de vulnerabilidad fue con base en el valor más bajo que corresponde al promedio mínimo obtenido, y su límite superior se delimitó sumándole el valor del intervalo derivado del paso anterior. Cuando la variable indica una ausencia de la población, el valor encontrado pertenece a una mayor vulnerabilidad. Así fueron construidos los valores extremos de la vulnerabilidad muy alta a muy baja.

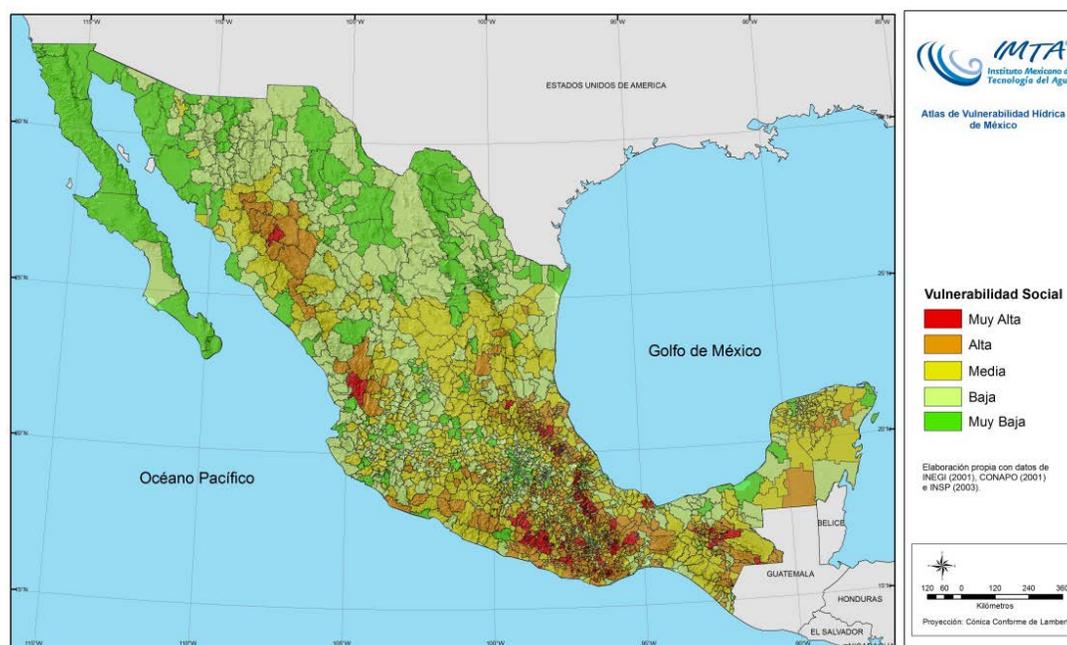
La metodología para obtener el IVS consiste en definir cinco rangos de vulnerabilidad (porque es donde se muestra mayor diversidad municipal), división en categorías (cinco, con ellas se obtiene el valor que define el intervalo o amplitud de cada nivel de vulnerabilidad), asignación de calificación (muy alta=1, alta=0.8, media=0.6, baja=0.4 y muy baja= 0.2), y finalmente, se hizo un promedio para cada municipio.

En general, cada indicador tiene el mismo peso (1.0), sin embargo, existen dos excepciones:

- i. *Índice de educación*, se proporcionó más peso al grado promedio de escolaridad (1.0), que al porcentaje de población analfabeta (0.5), porque el porcentaje de analfabetos en el país es muy bajo (18%) e influye más los años estudiados en el momento de acceder e interpretar la información sobre los eventos climáticos.
- ii. *Índice de empleo*, tiene mayor relevancia el ingreso salarial (1.0), que la razón de dependencia²⁶ (0.5), debido a que los mexicanos ingresan a trabajar más jóvenes y se retiran a mayor edad.

Para esta metodología, se careció de información para el municipio de Nicolás Ruiz en Chiapas, debido a que el Censo de Población y Vivienda de 2000 no se aplicó en dicho lugar (Figura 4.2).

Figura 4.2 Índice de vulnerabilidad social por municipios para la República Mexicana



Fuente: IMTA, 2010

De la figura anterior se muestran la calificación de vulnerabilidad social para cada municipio del país, por ejemplo, en el sur de México se tiene mayor concentración de municipios con una

²⁶ La razón de dependencia es el porcentaje de población dependiente (menores de 15 y mayores de 65 años) con relación al PEA.

vulnerabilidad alta y muy alta, mientras que en el noroeste sólo hay pocos sitios con dicha condición. Con base en IVS es posible definir políticas de combate a la pobreza y de prevención de riesgos de desastre.

4.7 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL PARA EL GOLFO DE MÉXICO O ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD

La vulnerabilidad social es parcialmente el producto de las inequidades sociales (factores sociales que influyen o modelan la susceptibilidad de varios grupos al daño y que también determinan su capacidad para responder). También influyen las desigualdades del lugar como el nivel de urbanización, las tasas de crecimiento y la vitalidad económica (Rodríguez y Bozada, 2010).

En este trabajo Rodríguez y Bozada (2010) determinan mediante la aplicación de indicadores socioeconómicos y demográficos, las áreas de vulnerabilidad en la zona costera del golfo de México y mar Caribe, ante los eventos extremos.

El índice de vulnerabilidad del golfo de México se integró considerando los índices de Rezago Social (CONEVAL, 2005), de Desarrollo Humano (PNUD, 2005) y de Marginación (CONAPO, 2005). Se construyó a partir de once variables, las cuales se enuncian a continuación:

- Producto interno per cápita ajustado a dólares.
- % de la población femenina que participa en la población económicamente activa.
- % mayor de 15 años alfabetizada.
- % de la población femenina mayor a los 15 años alfabetizada.
- % población bajo pobreza alimentaria.
- Índice de sobrevivencia infantil.
- % de hogares con acceso a servicio de salud.
- Hogares que tienen tv dividido por población total.
- Hogares que no cuentan con agua potable.

- Localidades rurales dentro del municipio
- Grado de acceso a infraestructuras de comunicación.

El análisis del índice permitió identificar niveles de vulnerabilidad, donde se constituyeron cinco grupos o categorías de municipios considerando la magnitud de la vulnerabilidad (Figura 4.3).

Los rasgos o atributos sociales y económicos de cada grupo son:

Grupo 1. Muy baja vulnerabilidad (*zonas metropolitanas*), contiene 16 municipios y una población de 4, 286, 765 personas. Registra los mejores indicadores en relación a acceso a vías de comunicación, tasa de alfabetización femenina, PIB per cápita y acceso a servicios de salud.

Grupo 2. Baja vulnerabilidad (*periferias urbanas y pequeñas ciudades*). Muestra buenos indicadores en relación a grado de alfabetización. El PIB per cápita en promedio es un 50% más bajo que en el primer grupo; los hogares que no tienen acceso al agua potable o a servicios de salud son más numerosos respecto al grupo anterior. La participación de la mujer posee porcentajes inferiores al primer grupo. Mientras que, el acceso a los sistemas de comunicación, un 10% no está bien comunicado.

Grupo 3. Vulnerabilidad media (*rurales*). Contiene 168 municipios, donde existen rezagos importantes, por ejemplo, el grado de alfabetización de la población femenina, en este grupo hay tres municipios con 38% de alfabetización, lo mismo ocurre con el indicador de sobrevivencia infantil. La pobreza alimentaria afecta a mayores porcentajes de población (33%) en comparación con el grupo 2 (23%). El PIB per cápita es notablemente más bajo en este grupo (casi la mitad respecto al grupo anterior).

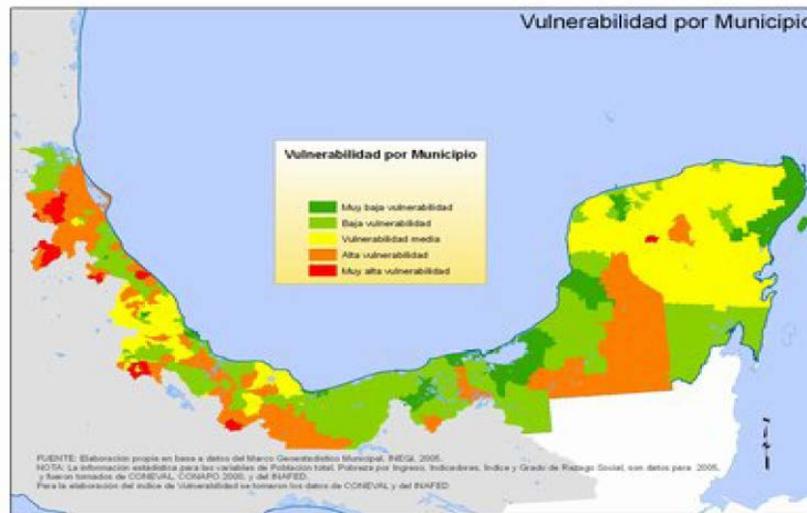
Grupo 4. Alta vulnerabilidad (*pequeños municipios*). Consta de 66 municipios y es un grupo más homogéneo. La pobreza alimentaria afecta en promedio al 40% de los hogares. Se distingue una

mayor incidencia del aislamiento, lo cual se asocia a que son en su mayoría municipios rurales y se caracterizan por un menor acceso a los servicios de agua potable y drenaje.

Grupo 5. Muy alta vulnerabilidad (*pobreza extrema y aislamiento*). Está integrado por 23 municipios. Figuran los más altos índices de rezago educativo, el 50% de la población no está alfabetizada y la población femenina posee el mayor rezago. La pobreza alimentaria alcanza al 60% de la población. El índice de sobrevivencia infantil es menor y el acceso a los servicios de salud es bajo, debido a que la población carece con buenos ingresos. En este grupo se encuentran los municipios localizados en regiones con topografía de montaña o sierra, que hacen difícil los problemas de comunicación.

De los parámetros anteriores es importante distinguir que dichos autores incorporan las localidades rurales dentro del municipio, y brinda mayor importancia al porcentaje de la participación de la población femenina.

Figura 4.3 Vulnerabilidad social en el golfo de México a nivel municipal



Fuente: Rodríguez y Bozada, 2010

4.8 GRADO DE VULNERABILIDAD SOCIAL (GVS) DEL CENAPRED

La Subdirección de Estudios Económicos y Sociales del CENAPRED define a la vulnerabilidad social desde el enfoque asociado a desastres como el conjunto de características sociales y económicas de la población, que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; vinculado con la capacidad de prevención y respuesta de la misma, frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población (García Arróliga, *et al.*, 2006).

Los indicadores propuestos para este índice son los que aparecen en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Indicadores socioeconómicos para la elaboración del Grado de vulnerabilidad social

| Tema | Indicador |
|-------------------|---|
| Salud | Médicos por cada 1000 habitantes |
| | Tasa de mortalidad infantil |
| | Porcentaje de la población no derechohabiente |
| Educación | Porcentaje de analfabetismo |
| | Porcentaje de población de 6 a 14 años que asiste a la escuela |
| | Grado promedio de escolaridad |
| Vivienda | Porcentaje de viviendas sin servicio de agua entubada |
| | Porcentaje de viviendas sin servicio de drenaje |
| | Porcentaje de viviendas sin servicio de electricidad |
| | Porcentaje de viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón |
| | Porcentaje de viviendas con piso de tierra, déficit de vivienda |
| Empleo e ingresos | Porcentaje de la población económicamente activa (PEA) que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos |
| | Razón de dependencia |
| | Tasas de desempleo abierto |
| Población | Densidad de población |
| | Porcentaje de la población de habla indígena |
| | Dispersión poblacional |

Fuente: García Arróliga, *et al.*, 2006

Los anteriores influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y de desarrollo de los individuos y de la sociedad en general.

La siguiente etapa es de capacidad de respuesta que se refiere a la preparación antes y después de un evento de las autoridades y de la población. Un tercer elemento es la percepción local que se describe del imaginario colectivo que tiene la población a cerca de las amenazas que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas.

Para obtener el grado de vulnerabilidad social frente a desastres se utiliza la siguiente expresión:

$$GVS = (R1 \times 0.50) + (R2 \times 0.25) + (R3 \times 0.25)$$

donde:

GVS Grado de vulnerabilidad social

R1 Resultado del primer cuestionario de la metodología

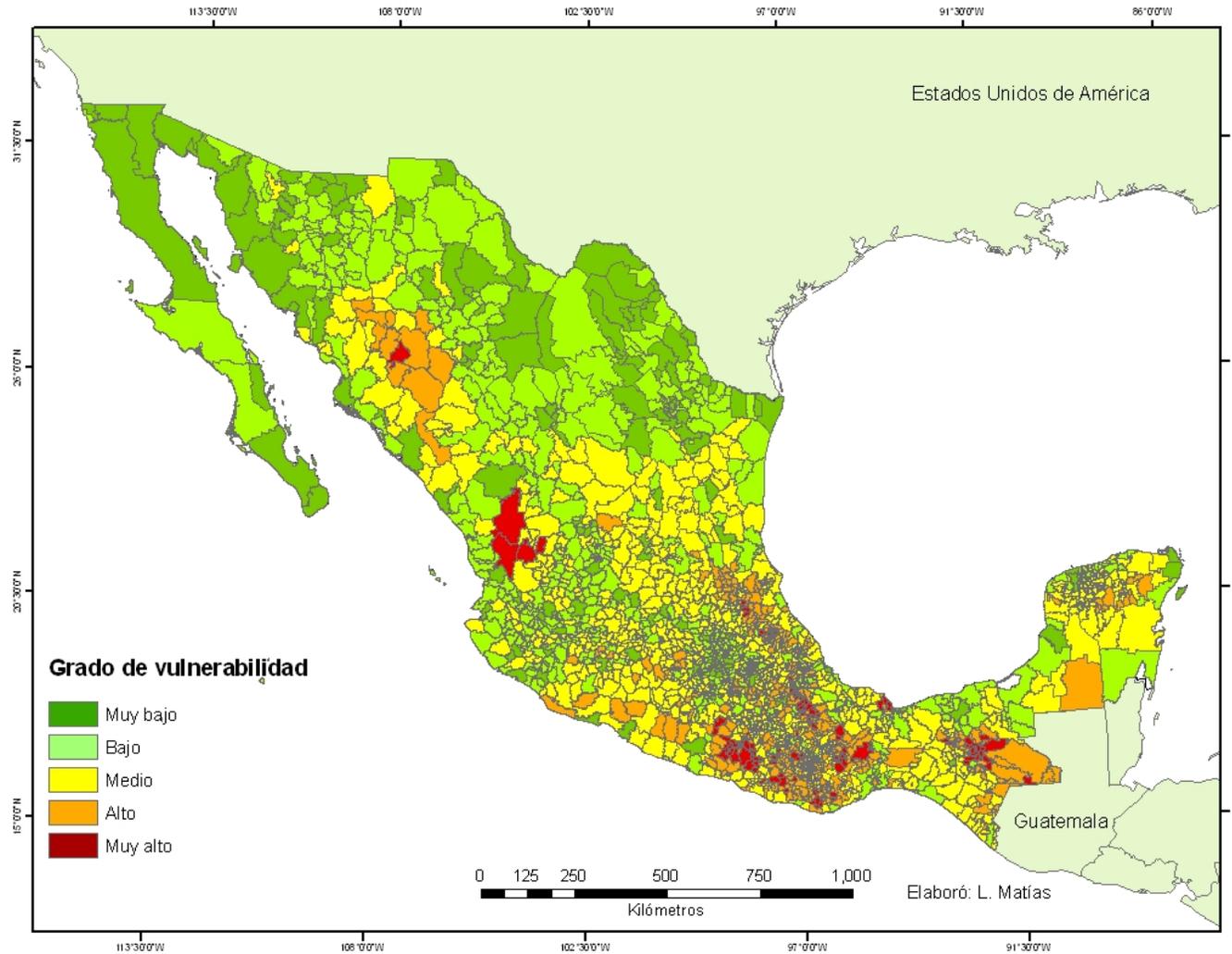
R2 Resultado del cuestionario de la metodología

R3 Resultado del cuestionario de percepción local de riesgo

Para calcular este índice se utilizó información del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, del INEGI, el Atlas de Salud de 2003, los trabajos de marginación y de desarrollo humano del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

De los 17 indicadores mencionados se establecieron valores para cada rango entre cero y uno, donde el uno indica el valor más alto de vulnerabilidad y cero es el nivel más bajo.

Una vez establecidos los valores de cada indicador, se obtiene el promedio para cada rubro, salud, educación, vivienda, empleo y población, con base en el promedio simple de éstos se brinda el mismo peso a cada tema, después se suman los resultados de cada uno y se divide entre cinco para obtener el promedio total (Figura 4.4).

Figura 4.4 Grado de vulnerabilidad social por municipio al 2000

Fuente: Elaboración propia con base en García Arróliga, *et al.*, 2006

4.9 ÍNDICE DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE RIESGOS DE LA SEDESOL

Como uno de los parámetros que utiliza la SEDESOL para elaborar el Programa de gestión de riesgos es la pobreza patrimonial de la CONEVAL, que considera la insuficiencia del ingreso disponible para conseguir la canasta alimentaria, así como realizar los gastos necesarios en salud, vestido, vivienda, transporte y educación, aunque la totalidad del ingreso del hogar fuera utilizado exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios. Las demás variables fueron:

- Nivel de recurrencia de desastres de origen hidrometeorológico, determinado a partir de la base de datos DesInventar-México.
- Porcentaje de la población viviendo en condiciones de pobreza patrimonial.
- En algunos casos se consideró necesariamente diferenciar entre municipios urbanos y rurales.

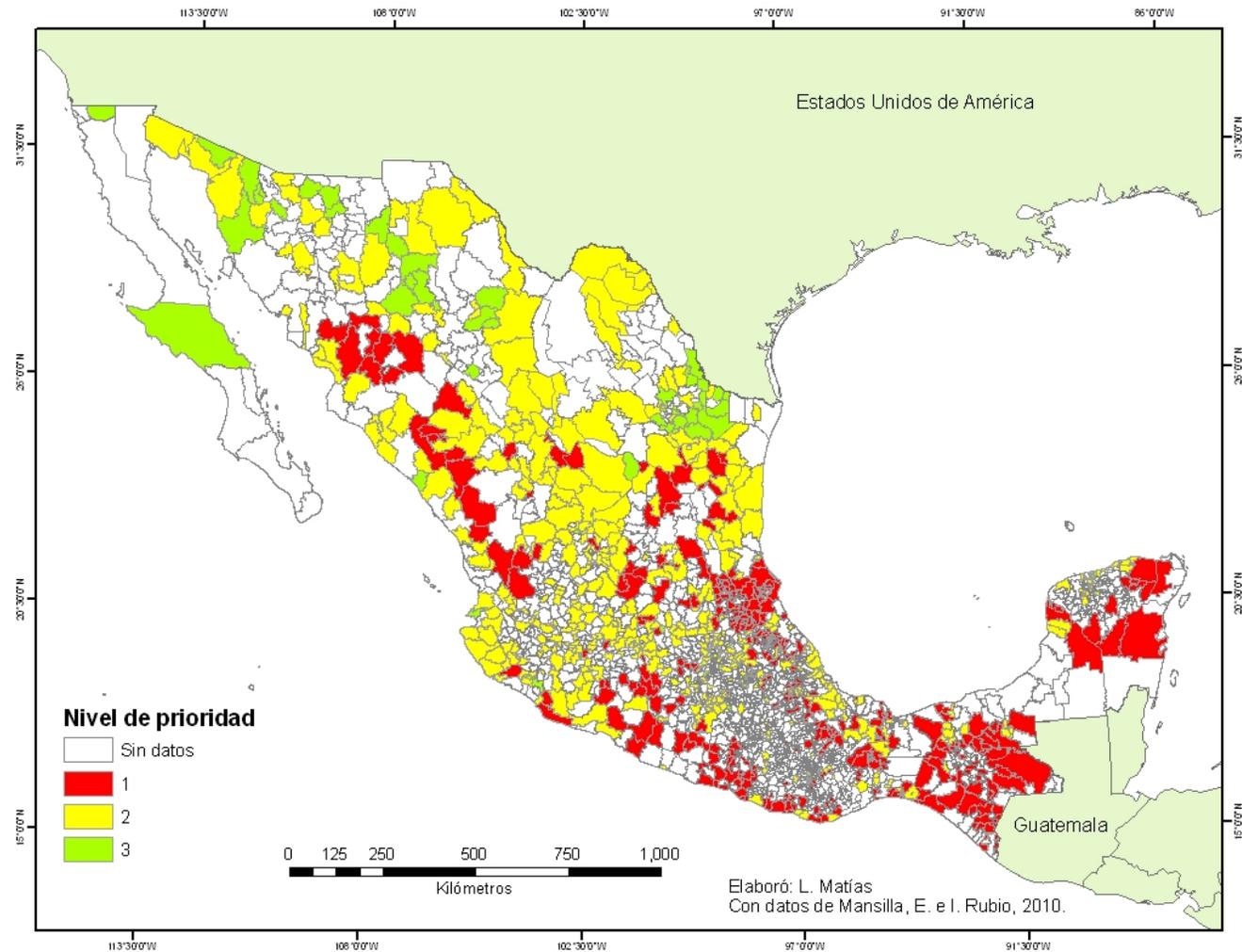
Dado que la recurrencia de los fenómenos de origen hidrometeorológico es muy alta, especialmente las lluvias e inundaciones, se incluyeron todos los municipios que cuenten con registros. Básicamente se consideró como criterio de agrupación el nivel de pobreza patrimonial por tercios.

- Prioridad 1. Más del 66.6% de la población viviendo en condiciones de pobreza patrimonial.
- Prioridad 2. Entre el 33.3 % y 66.6 % de la población viviendo en condiciones de pobreza patrimonial.
- Prioridad 3. 33.3% o menos de la población viviendo en condiciones de pobreza patrimonial.

Con base en el estudio de Mansilla y Rubio (2010), para los 2456 municipios de México, se encontró un total de 959 registros, donde en el nivel de prioridad uno hay 383, en el dos 507 y

en la prioridad tres, 69 municipios respectivamente. En la Figura 4.5, se muestra la distribución espacial de los municipios con nivel de pobreza patrimonial, donde se carece de un patrón en particular, es decir, los municipios con prioridad uno algunos son costeros, otros están en el interior e, incluso, unos más se localizan sobre las principales sierras del país. De éstos destacan con un mayor porcentaje de pobreza patrimonial los que se encuentran en los estados de Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Veracruz y estado de México.

Figura 4.5 Nivel de pobreza patrimonial según prioridad para los municipios con eventos de origen hidrometeorológico



Fuente: Mansilla y Rubio, 2010

4.10 VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA FRENTE A DESASTRES EN LA RIVERA MEXICANA

Por otra parte, el trabajo de Juárez, *et al.*, (2006) sobre la estimación de la vulnerabilidad social en la Rivera Mexicana, se elaboró con base en el nivel socioeconómico y las condiciones de vida de la población, la cual se obtuvo a partir de 12 indicadores.

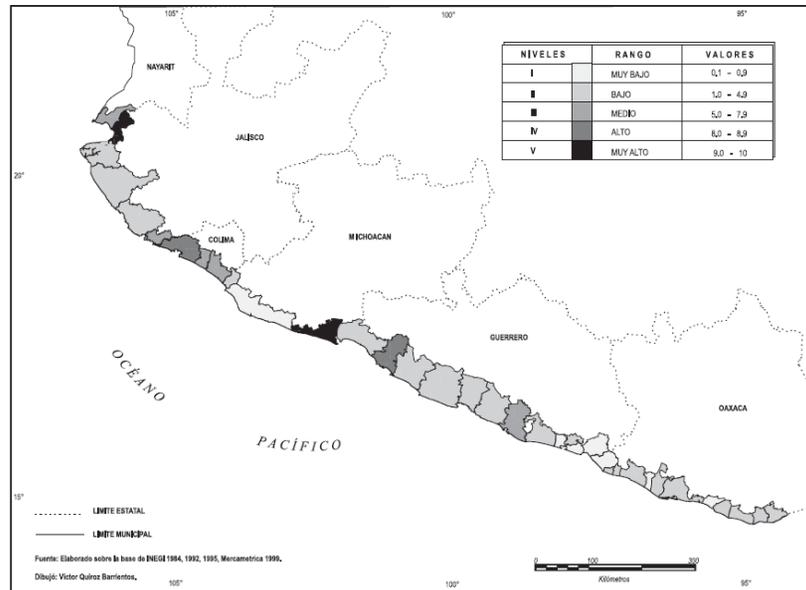
- Tasa de crecimiento poblacional (1980-2000),
- Densidad de población,
- Grado de urbanización,
- Porcentaje de población económicamente activa en el sector terciario,
- Niveles de ingreso (alto, medio, bajo)
- Ingreso popular
- Ingreso per cápita
- Habitantes por vivienda,
- Porcentaje de servicios en la vivienda (agua, energía eléctrica y drenaje)

La región de estudio abarca 36 municipios que fueron clasificados en cinco niveles de vulnerabilidad socioeconómica: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (Figura 4.6).

Nivel socioeconómico muy alto. Abarca dos municipios que presentan un crecimiento de población fuerte y una densidad de población alta y muy alta. Además un municipio es esencialmente turístico y el otro es industrial, sin embargo, en este último el sector salud registró enfermedades gastrointestinales, dengue y paludismo.

Nivel socioeconómico alto. En esta categoría se encuentran dos centros turísticos Ixtapa Zihuatanejo y Manzanillo, aunque este último es importante por el sector industrial. En ambos se encuentran condiciones favorables en la vivienda, debido a que el 99% de éstas cuentan con todos los servicios.

Figura 4.6 Nivel socioeconómico en la Riviera Mexicana



Fuente: Juárez, *et al.*, 2006

Nivel socioeconómico medio. Cuenta con cinco municipios, entre ellos destaca Acapulco que tiene un crecimiento de población medio y una urbanización muy alta. Además el nivel educativo registra un valor del 50%, porque posee centros educativos de nivel superior, tanto públicos como privados y ha sido el municipio con mayor afluencia turística en 1998.

Nivel socioeconómico bajo. Está integrado por 18 municipios que corresponde a la mitad de la región de estudio. Cabe mencionar que en este nivel destaca el municipio de Santa María Huatulco, porque registra el valor más alto en crecimiento poblacional, sin embargo, en toda la región se carece de población urbana. No obstante, existen contrastes en las variables socioeconómicas, principalmente con los servicios básicos en las viviendas.

Nivel socioeconómico muy bajo. Consta de siete municipios, donde se presentan decrecimientos poblacionales y la población total habita en asentamientos rurales dispersos. En cuanto a los servicios en la vivienda el 60% posee agua potable y 40% sólo tiene drenaje.

Finalmente, la vulnerabilidad social según las condiciones económicas de la población evidencian elevados contrastes, que reiteran las diferencias entre la parte noroccidental de la región, de mejores condiciones de vida; mientras que la parte central y suroriental son menos favorecidas

4.11 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIODEMOGRÁFICA

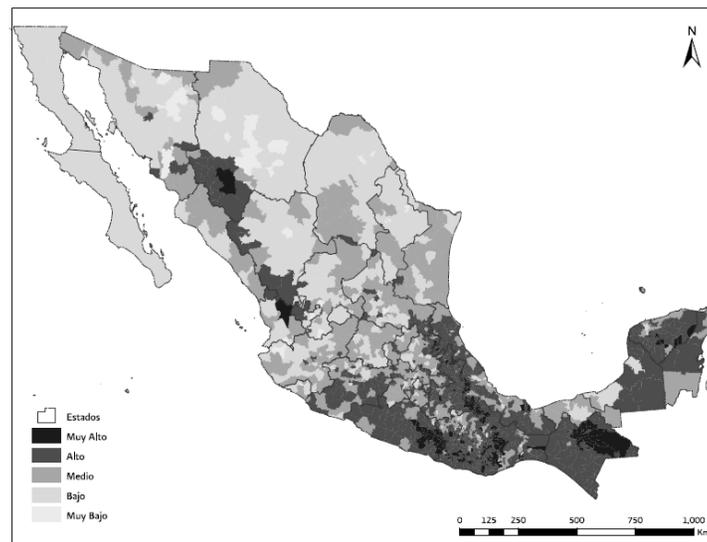
El Consejo Nacional de Población propone un índice de vulnerabilidad socioeconómica ante fenómenos hidrometeorológicos, con la finalidad de identificar los municipios más vulnerables y con ello sugerir líneas generales de acción para la prevención y la reducción del riesgo. El índice está compuesto por 12 indicadores.

- Porcentaje de viviendas con hacinamiento
- Porcentaje de viviendas sin servicios públicos
- Porcentaje de viviendas construidas con materiales precarios
- Porcentaje de viviendas sin medios de comunicación
- Porcentaje de población que vive en localidades menores a 2500 habitantes
- Porcentaje de población mayor a 15 años analfabeta
- Razón de dependencia demográfica
- Porcentaje de población ocupada en el sector primario de la economía
- Porcentaje de la población indígena que no habla español
- Porcentaje de la población discapacitada
- Porcentaje de población ocupada que gana tres o menos salarios mínimos
- Porcentaje de la población sin servicios de salud

La vulnerabilidad sociodemográfica se asocia con las transiciones demográfica y urbana, debido a las transformaciones económicas, familiares, de la composición de las viviendas y por las expresiones territoriales que acompañan a estos procesos.

Los municipios con muy alta vulnerabilidad sociodemográfica se ubican principalmente en zonas situadas en la Sierra Madre del Sur en las entidades de Guerrero, Oaxaca y Chiapas; en la Sierra Madre Occidental desde el norte de Jalisco hacia Nayarit, Durango y Chihuahua; en la Sierra Madre Oriental sobre el estado de Veracruz, y en Quintana Roo, Campeche y Yucatán (Figura 4.7). Los cinco municipios que registraron el IVSD más elevado del país fueron Cochoapa El Grande (Guerrero), San Juan Cancuc (Chiapas), Tehuipango (Veracruz), Santa Lucía Miahuatlán (Oaxaca) y Metlatónoc (Guerrero).

Figura 4.7 Vulnerabilidad sociodemográfica por municipio



Fuente: CONAPO, 2011

La vulnerabilidad adopta una distribución espacial semejante a la marginación y el desarrollo humano, los municipios con mayor vulnerabilidad sociodemográfica se localizan en el sur y sureste del país, en Guerrero, Chiapas y Oaxaca, desde donde se desprenden corredores hacia el noreste y noroeste sobre los trayectos de los rasgos orográficos más visibles del país: la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental.

4.12 ÍNDICE DE VIVIENDA CON MATERIALES PRECARIOS (IVMP)

La vulnerabilidad para la vivienda es una medida multicausal del riesgo y peligro de sufrir daño que padecen las personas, los hogares y las comunidades, que en ocasiones se quedan indefensas, ante el comportamiento de las variables asociadas con el tipo de vivienda, el número de cuartos de la vivienda y el tipo de propiedad sobre la misma; todo ello acelerado por las condiciones, restricciones y exclusiones que se derivan de la nueva economía de mercado (Cervantes y Bueno, 2009).

Las características constructivas de las viviendas tienen el propósito de suministrar información estadística sobre la clase de vivienda y materiales de construcción en pisos, paredes y techos, esta información proporciona estimaciones sobre el déficit habitacional actual y futuro, así como la resistencia constructiva de las viviendas ante los efectos adversos del medio ambiente. Además brindan un acercamiento al tipo de edificaciones e instalaciones que habita la población en México (INEGI, 2011b).

Con base en lo anterior se construyó un índice con datos de las viviendas referentes a los techos y muros con materiales precarios, con el propósito de obtener una calificación de la vivienda ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, principalmente para el caso de las precipitaciones generadas por los ciclones tropicales, con la finalidad de conocer qué viviendas son más susceptibles de daño. Para ello, se utilizó la información del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, debido a que cuenta con registros a nivel municipio y con ello se caracterizó a todo el país.

Respecto a la resistencia de los techos de materiales débiles se agrupó a los siguientes: material de desecho o lámina de cartón, lámina metálica, lámina de asbesto, palma, paja, madera o tejamanil, teja, terrado con vigería y el material no especificado, debido a que son los más susceptibles al daño causado por la lluvia.

En tanto que, las paredes con materiales débiles se incluyó a los de desecho o lámina de cartón, embarro²⁷ o bajareque, lámina de asbesto o metálica, carrizo, bambú o palma, madera o adobe y material no especificado.

Las variables utilizadas fueron:

- Viviendas particulares habitadas
- % según resistencia de los techos de materiales débiles
- % según resistencia de las paredes de materiales débiles

La propuesta de Índice de vulnerabilidad por materiales susceptibles a dañarse por lluvia es el siguiente:

$$I_{\text{materiales}} = \text{Fac}_p \times \text{Indice}_{\text{paredes}} + \text{Fac}_t \times \text{Indice}_{\text{Techos}}$$

donde,

$\text{Indice}_{\text{Techos}}$ Índice de viviendas con techos de materiales débiles

$\text{Indice}_{\text{paredes}}$ Índice de viviendas con paredes de materiales débiles

Fac_p Factor de influencia de las paredes (0.1)

Fac_t Factor de influencia de los techos (0.9)

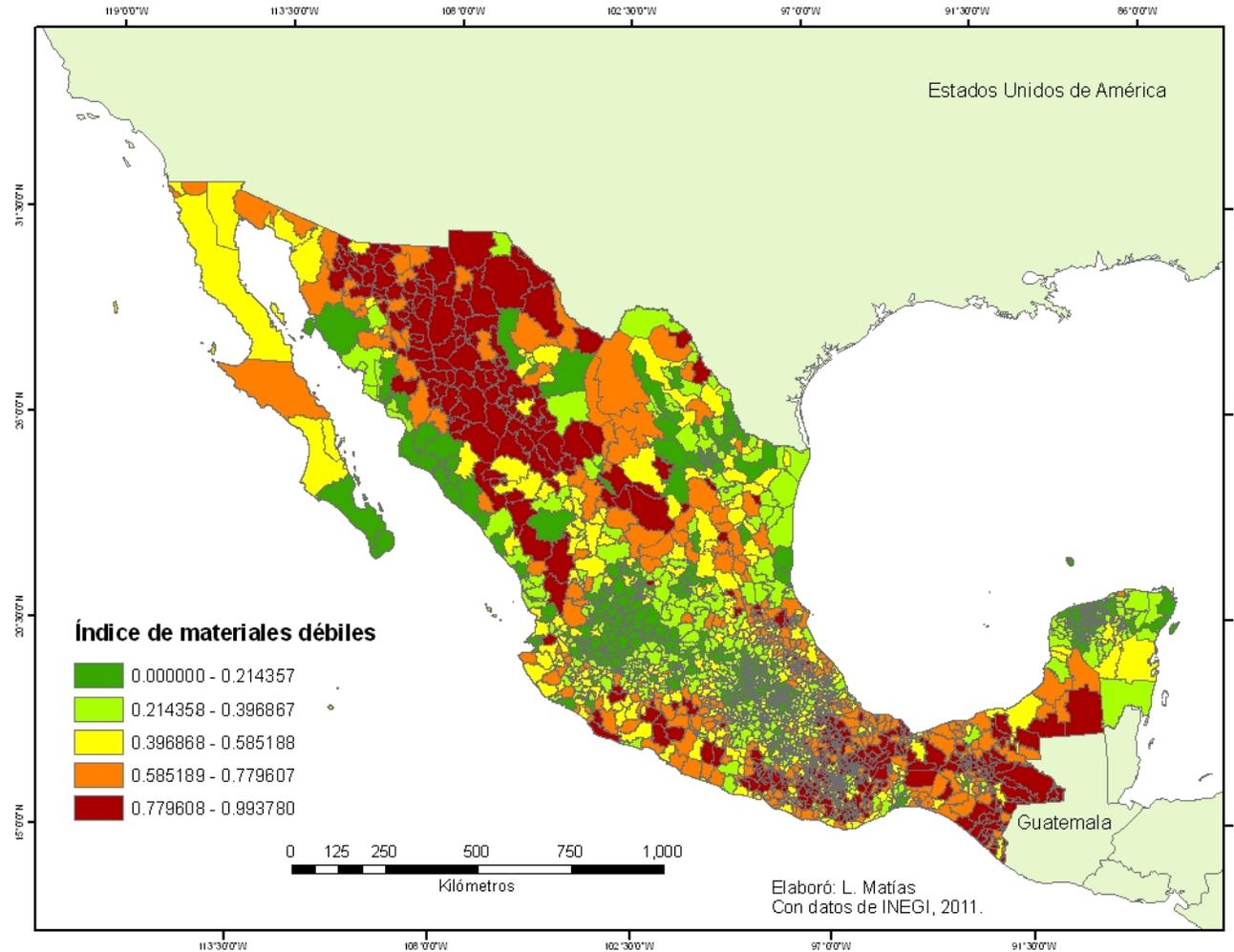
Para ello es importante mencionar que el factor de techos se calificó con el valor máximo (0.9), debido a que las lluvias afectan en mayor medida a este elemento del inmueble y en ocasiones éstas pueden ser intensas y sí el techo es de material débil puede ocasionar que se colapse o que se generen infiltraciones de agua y afectar los bienes y la salud de los habitantes de la casa. Además una vez que la lluvia se concentra en la cuenca puede generar inundaciones y dañar las paredes de la estructura de la vivienda, ello implica que la población tiene mayor tiempo para llegar a un lugar seguro.

Los resultados del índice de materiales débiles se presentan en la figura 4.8, donde se muestran los valores más altos en color café y se localizan principalmente sobre la Sierra Madre

²⁷ Embarro es sinónimo de bajareque que significa pared de palos entretejidos con cañas y barro.

Occidental, Sierra Madre del Sur y gran parte del estado de Chiapas. En contraste con los de menor valor que se encuentran en la Meseta Central de Chiapas y en el Sistema Volcánico Transversal. Por otra parte en la Tabla 4.3 se encuentra un resumen de dicho índice.

Figura 4.8 Índice de vulnerabilidad por materiales débiles



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

De los resultados obtenidos se muestran que el índice alto y muy alto de materiales débiles se concentra en 1002 municipios, que corresponde al 41% del total de los municipios del país y en éstos habitan cerca de 16 millones de personas, pertenecientes al 14.2% de la población total de México (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Resumen de la vulnerabilidad de la vivienda según materiales débiles, 2010

| <i>Índice de materiales</i> | <i>Municipios</i> | <i>Población</i> |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| Muy alto | 485 | 6,077,119 |
| Alto | 517 | 9,909,341 |
| Medio | 468 | 13,403,462 |
| Bajo | 480 | 22,019,847 |
| Muy bajo | 506 | 60,926,769 |
| Total | 2456 | 112,336,538 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

Sin embargo, es necesario incluir el grado de marginación por municipio 2010, el cual representa la vulnerabilidad social porque es una medida que proporciona las carencias que padece la población (CONAPO, 2011). En la Tabla 4.4 se presentan los valores que se asignaron a los 2456 municipios del país.

Tabla 4.4 Calificación del Grado de vulnerabilidad social

| Grado de marginación | Calificación | Municipios | Población |
|----------------------|--------------|------------|-------------|
| Muy alto | 1.0 | 441 | 5,535,321 |
| Alto | 0.75 | 408 | 5,989,568 |
| Medio | 0.5 | 944 | 21,225,659 |
| Bajo | 0.25 | 401 | 16,356,933 |
| Muy bajo | 0.0 | 262 | 63,229,057 |
| Total | | 2456 | 112,336,538 |

Fuente. Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

Un criterio para adicionar el índice de marginación fue presentado por Flores *et al.*, (2006), donde proporcionaron un peso del 20% respecto al índice de vulnerabilidad física ($I_{\text{materiales}}$), porque estimaron que los factores socioeconómicos tienen influencia en al menos ese

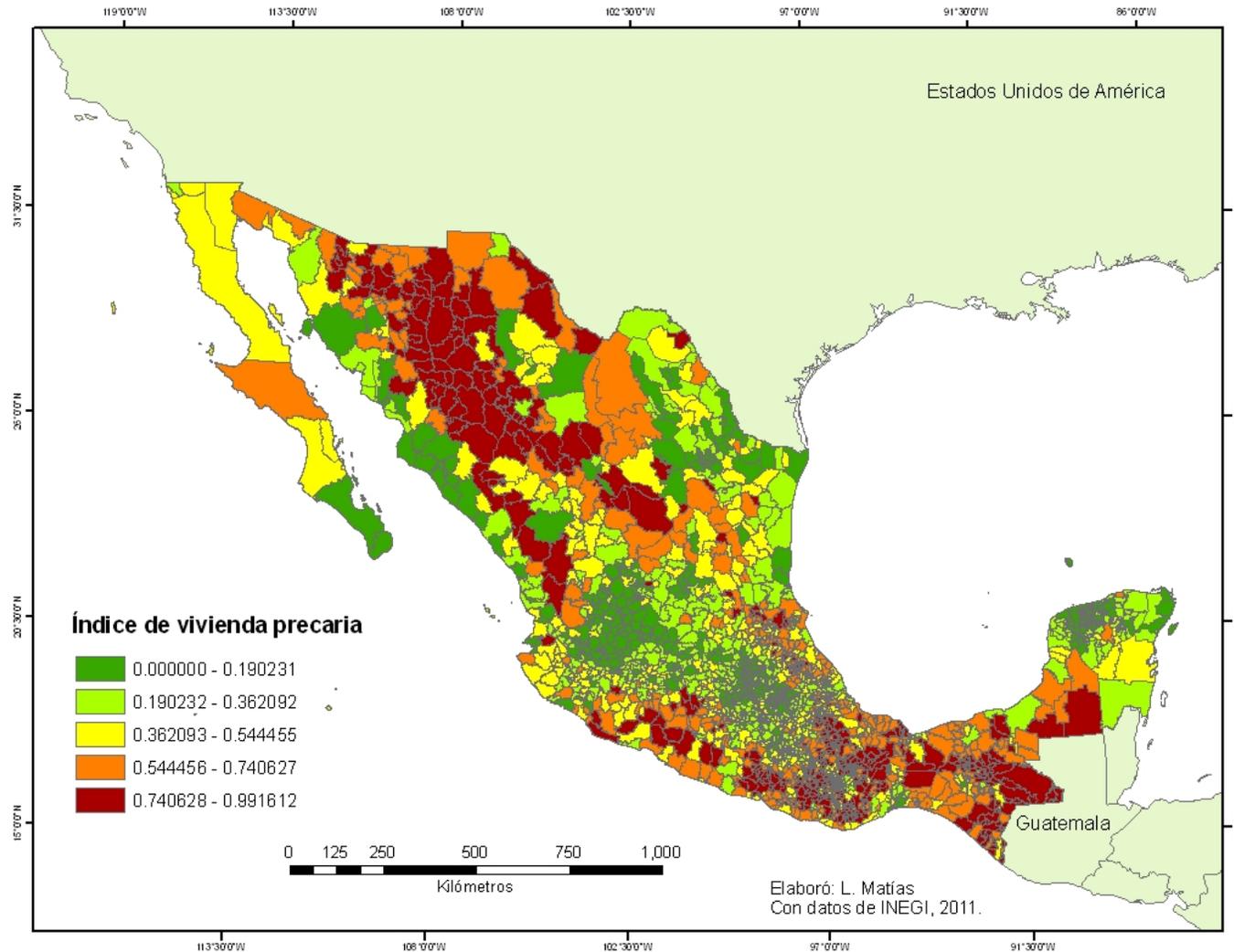
porcentaje, y que el aspecto social se considera indicador de la calidad de los materiales de construcción.

Con base en lo anterior se presenta el índice de vivienda precaria en la siguiente expresión:

$$I_{\text{vivprecaria}} = I_{\text{materiales}} (0.8 + 0.2 I_{\text{marginación}})$$

Los resultados obtenidos del índice de vivienda precaria se muestran en la siguiente figura e indican que algunos municipios del sur del país al combinarles el grado de marginación, incrementaron su índice de vivienda precaria, debido a que esta región es la más deprimida en cuestiones sociales y ello se reflejó en este índice.

Figura 4.9 Índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

Finalmente, al incluir el índice de marginación y combinarlo con el índice de la vivienda de materiales débiles, resulta que el número de municipios que se encuentran calificados como alto y muy altos es de 975 que representan el 39.7% del total de municipios del país y en éstos se localiza el 13.5% de la población total (Tabla 4.5).

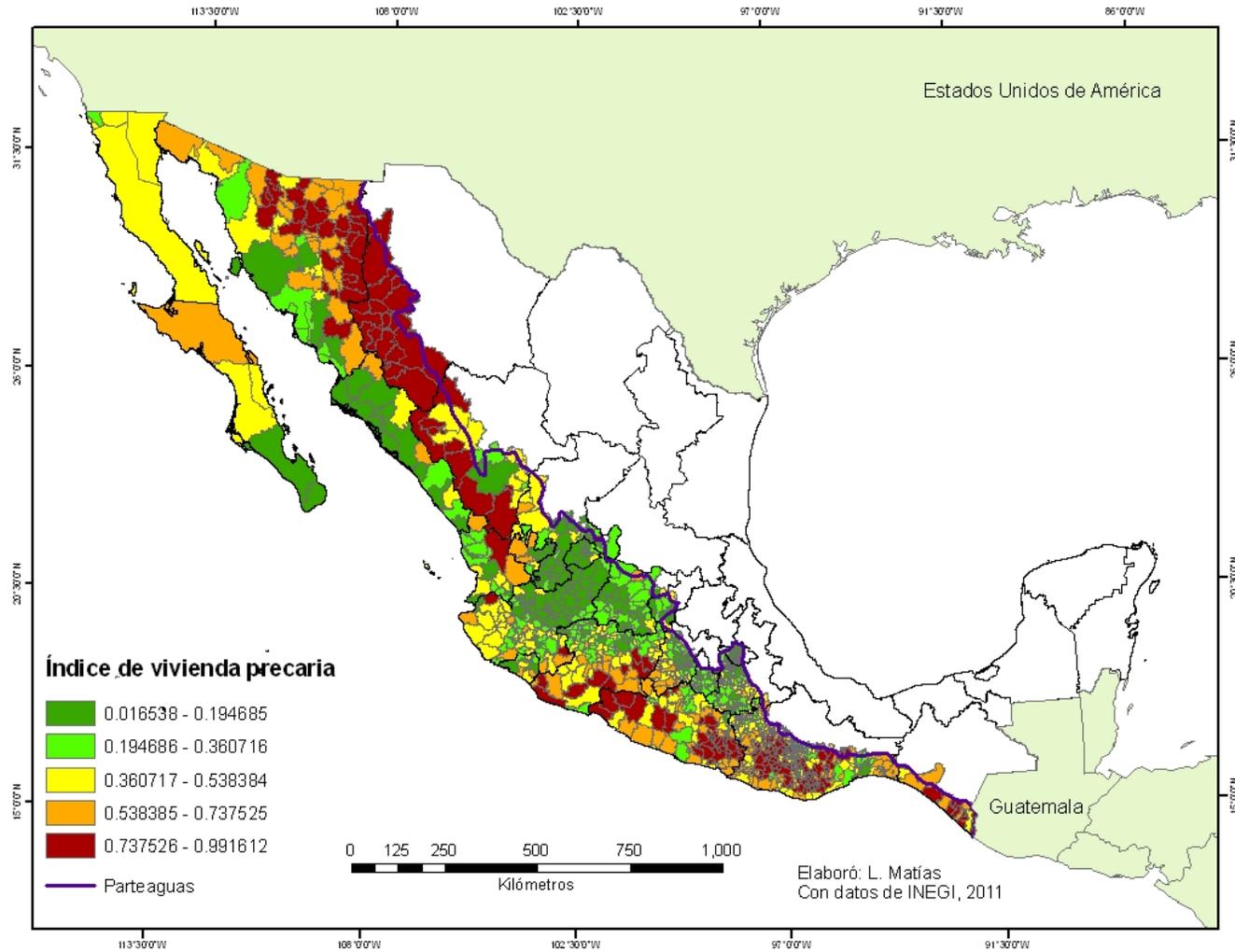
Tabla 4.5 Vulnerabilidad de la vivienda precaria

| Índice materiales | Municipios | Población |
|-------------------|-------------|--------------------|
| Muy alto | 497 | 6,009,258 |
| Alto | 478 | 9,218,164 |
| Medio | 466 | 11,583,788 |
| Bajo | 524 | 23,295,590 |
| Muy bajo | 491 | 62,229,738 |
| Total | 2456 | 112,336,538 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

Cabe mencionar que, en la vertiente del océano Pacífico hay 21 estados y 1,276 municipios susceptibles a las lluvias de los ciclones tropicales, en los cuales habitan 50,490,947 personas (Figura 4.10), destaca el estado de Chihuahua al presentar el 100% de su población en la clasificación de muy alto, la cual se encuentra esencialmente en la sierra Tarahumara (Figura 4.11 y Tabla 4.6), en segundo lugar está Chiapas que concentra el 67% de su población en las categorías de alto y muy alto, y que son en su mayoría municipios costeros que tienen elevadas carencias socioeconómicas. Mientras que, Guerrero y Oaxaca poseen las condiciones de alto y muy alto en el 40 y 37% de su población, respectivamente. Además de contar con los índices de mayor rezago social. En el extremo se encuentra Tlaxcala al representar el 99% de su población en el nivel de muy bajo.

Figura 4.10 Índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones de la vertiente del Pacífico nororiental



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

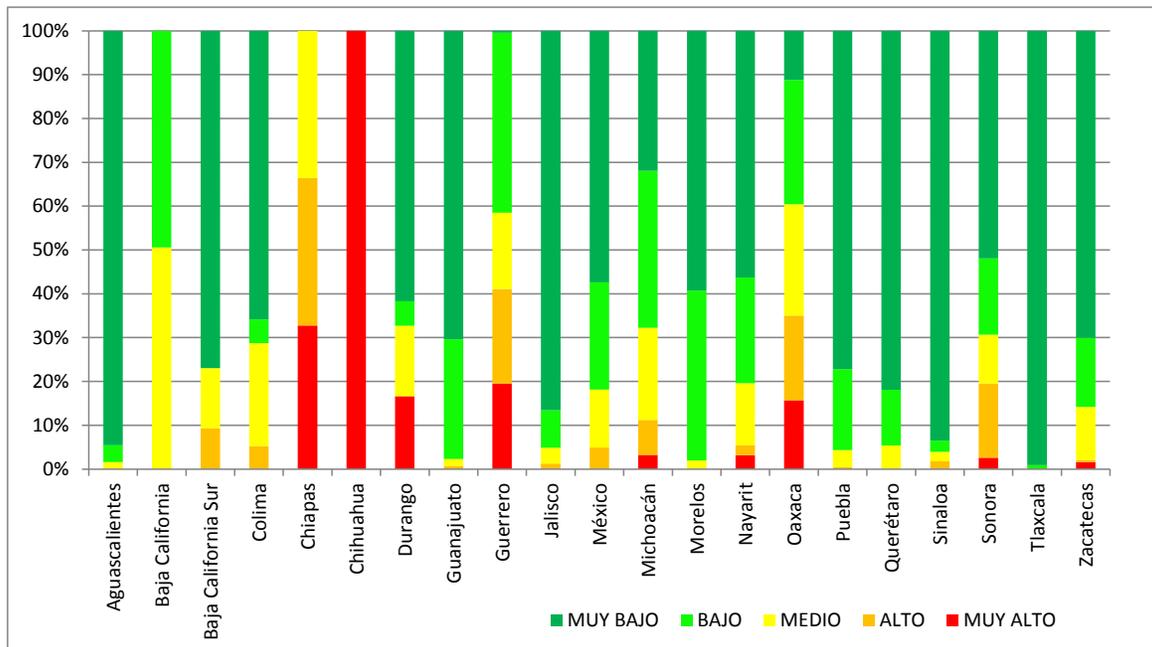
Tabla 4.6 Vulnerabilidad de la vivienda precaria para los estados de la vertiente del océano Pacífico

| Estado | Municipios | Población | % de la vivienda precaria (techos) |
|---------------------|-------------|-------------------|------------------------------------|
| Aguascalientes | 11 | 1,184,996 | 7.68 |
| Baja California | 5 | 3,155,070 | 22.9 |
| Baja California Sur | 5 | 637,026 | 9.75 |
| Colima | 10 | 650,555 | 5.31 |
| Chiapas | 21 | 1,072,940 | 32.57 |
| Chihuahua | 18 | 322,274 | 22.76 |
| Durango | 18 | 943,319 | 33.29 |
| Guanajuato | 42 | 5,444,262 | 6.80 |
| Guerrero | 81 | 3,388,768 | 37.0 |
| Jalisco | 125 | 7,350,682 | 8.09 |
| México | 67 | 4,161,673 | 6.06 |
| Michoacán | 113 | 4,351,037 | 19.68 |
| Morelos | 33 | 1,777,227 | 9.41 |
| Nayarit | 20 | 1,084,979 | 9.97 |
| Oaxaca | 423 | 2,880,887 | 33.61 |
| Puebla | 93 | 3,067,567 | 12.70 |
| Querétaro | 11 | 1,650,966 | 3.43 |
| Sinaloa | 18 | 2,767,761 | 5.27 |
| Sonora | 72 | 2,662,480 | 11.80 |
| Tlaxcala | 48 | 948,195 | 9.68 |
| Zacatecas | 42 | 988,283 | 36.56 |
| Total | 1276 | 50,490,947 | |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

De la tabla anterior resulta que los estados de Guerrero, Oaxaca y Zacatecas presentan los mayores porcentajes respecto a la vivienda precaria, por ello los aspectos como desigualdad social, pobreza extrema, desnutrición y además, las diferencias estrategias de la población para completar la economía campesina primero con una migración al interior del país, para terminar con una migración hacia ciudades fuera del país, como los Estados Unidos son las principales causas del porque se tienen dichos resultados.

Figura 4.11 *Porcentaje de la población vulnerable por la vivienda precaria ante lluvias de los ciclones de la vertiente del Pacífico nororiental*



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a

4.13 CONCLUSIONES

En la revisión de algunos índices de vulnerabilidad existentes en México, se encontró que en ninguno de éstos se indica la vulnerabilidad ante qué y vulnerabilidad de qué?, es decir, falta decir el *apellido* de ésta, por ello en la investigación se analizó la vulnerabilidad de la vivienda ante las precipitaciones de los ciclones tropicales.

La estimación de la vulnerabilidad ante la precipitación de los ciclones tropicales tomó en cuenta las deficiencias de información e incertidumbres para establecer los procedimientos de análisis, por ejemplo, se utilizó el tipo de materiales de la vivienda que contempla el INEGI en el Censo de Población y Vivienda 2010, donde se identificó a los materiales débiles como los más susceptibles al daño de la lluvia.

Por otra parte, la vulnerabilidad social o las condiciones socioeconómicas de la población fueron establecidas con base en el índice de marginación de CONAPO, donde se apreciaron las diferencias entre regiones del país, siendo las mejores condiciones de vida en el centro de México, principalmente los estados de México y Tlaxcala, mientras que la región menos favorecida es la Sierra Madre Occidental, el sur de territorio nacional, principalmente los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

4.14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, D. 1993. *Natural Disasters*. Chapman & Hall, New York, pp. 154-170.
- Cervantes, D. y E. Bueno. 2009. Vulnerabilidad social municipal en el estado de Zacatecas, México. *Cuadernos geográficos*. No. 45, pp.173-207.
- CONAPO, 2011. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Consejo Nacional de Población. <http://www.conapo.gob.mx>. [última consulta 26 de diciembre de 2012].
- Flores, L., O. López, M. Pacheco, C. Reyes y D. Rivera. 2006. Evaluación de la vulnerabilidad de la vivienda ante sismo y viento. En *Guía básica para la elaboración de los atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, pp. 11-56.
- García, N., R. Marín y K. Méndez. 2006. Vulnerabilidad social, en *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Serie: Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED, México, pp. 75-104.
- IMTA, 2010. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. En Martínez P. y C. Patiño (Editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp. 1-37.
- INEGI. 2011a. *Censo de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. <http://www.inegi.org.mx>. [última consulta 6 marzo de 2012].
- INEGI. 2011b. *Síntesis metodológica y conceptual del Censo de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, pp.28-31.
- Juárez, M.C., L. Iñiguez y M.A. Sánchez. 2006. Niveles de riesgo social frente a desastres naturales en la Riviera Maya. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 61, pp. 75-88.

- Lugo, J., M.T. Vázquez, G. Melgarejo, F. García y L.G. Matías. 2001. Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla. **Ciencia y Desarrollo**, Marzo/Abril, Vol. XXVII, No. 157, México, pp. 24-33.
- Malilay, J. 1997. Ciclones tropicales. En Noji, Eric (editor). **Impacto de los desastres en la salud pública**. Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, Colombia, pp. 207-226.
- Mansilla, E. e I. Rubio. 2010. **Diagnóstico nacional de los asentamientos humanos ante el riesgo de desastres**. SEDESOL, pp. 128.
- National Research Council. 1994. Facing the challenge. **The U.S. National Report**. Washington, D.C. National Academy Press. Chapter II. Risk Assessment. <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/eng/doc4911/doc4911.htm>. Última consulta 20 de enero 2013.
- Rodríguez, P. y L. Bozada. 2010. Vulnerabilidad social en las costas del golfo de México. Un estudio exploratorio. En A. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L Rojas (ed) **Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático**. Gobierno del estado de Tabasco. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche, pp.427-467.
- Soares, D., R. Romero y R. López. 2010. Índice de vulnerabilidad social. En Martínez, P. y C. Patiño (Editores). **Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático**. Serie Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Vol. III, pp. 1-37.
- Soares, D., R. Romero y R. López. 2010. **Informe final del Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático, impacto de la relación agua y cambio climático en los sistemas sociales en México**. Subcoordinación de Participación Social. Coordinación de Comunicación, Participación e Información, pp. 100.

CAPÍTULO 5. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO POR PRECIPITACIÓN CICLÓNICA

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente apartado el objetivo principal es evaluar el riesgo por la precipitación generada de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental, se explica la manera como se calculó el índice de riesgo por precipitación ciclónica, el cual es cualitativo y está en función tanto del índice de peligro por precipitación ciclónica que se obtuvo en el capítulo tres, como del índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria asociada a la lluvia de los ciclones tropicales del Pacífico nororiental, generado en el capítulo anterior. Todo ello con el propósito de identificar el riesgo asociado a la lluvia de los ciclones en los municipios en estudio.

Es importante mencionar que la definición de riesgo se trató en el capítulo uno, el cual corresponde al valor esperado de las pérdidas producidas por la ocurrencia de un fenómeno perturbador sobre el sistema expuesto. La expresión universal del riesgo es la siguiente:

$$R = P \times V \times E$$

donde:

P es el Peligro y se define como la probabilidad de que se presente un fenómeno perturbador, se recomienda expresarlo como la probabilidad de ocurrencia anual.

V es la Vulnerabilidad es la susceptibilidad de que un elemento sea dañado

E es la Exposición de los bienes dañados, por ejemplo, m² de construcción, número de personas, hectáreas de cultivos, pero casi siempre se expresa en pérdidas económicas (pesos o dólares).

Para estimar el costo de daño en el tipo de estructura que se desea analizar, es necesario valorar el costo total del inmueble que para este caso es la vivienda de materiales precarios; sin embargo, en cada región del país puede variar el valor de las mismas, así pues se requiere establecer tabuladores, de preferencia expresándolos en costos unitarios como metro cuadrado

construido. Con el propósito de contar con un parámetro aproximado, y sin intención de que se tomen como valores definitivos, se definen los siguientes costos:

- \$30,000 a la vivienda con materiales precarios, se excluye el menaje.
- \$200,000 a la vivienda de material firme, se excluye el menaje.

Con los costos anteriores se considera el valor de la estructura, acabados e instalaciones; sin embargo, en el caso del colapso se deberá considerar los contenidos de la misma (menaje).

Por ejemplo, si el $R=0.1$ y hay 8000 viviendas, el cálculo de la pérdida sería 0.1×8000 , que corresponde a 800 viviendas, y si éstas son de materiales precarios el costo será de $800 \times 30,000 = \$24$ millones de pesos, pero si fueran de materiales firmes ascendería el valor a $800 \times 200,000 = \$160$ millones de pesos.

Entonces, las pérdidas económicas por municipio i se obtendrían de la siguiente manera:

$$I_R \times E$$

donde:

I_R es el Índice de riesgo anual

E es la Exposición en pérdidas económicas (\$)

5.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO POR PRECIPITACIÓN CICLÓNICA

Para obtener el índice de riesgo se utilizó la siguiente expresión:

$$I_R = I_P \times I_V$$

donde:

I_P es el índice de peligro por precipitación ciclónica

I_V es el índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria asociada a lluvia de ciclones tropicales.

Con la expresión anterior se construyó el mapa de riesgo por precipitación asociada a la lluvia de los ciclones tropicales del Pacífico Nororiental (Tabla 5.1), donde se muestra que algunos municipios calificados con la categoría de muy alto, se encuentran sobre las principales sierras de Guerrero (sierra de la Cuchilla, Cumbres de Dolores, Cumbres de la Tentación, sierra Campo

Morado, sierra de Iguatlatlaco y Salto de Valadez) y en Oaxaca están en las regiones de la Mixteca, Zempoaltépetl, y en las sierras Mixes, Niltepec o Atravesada. Además en la costa de Chiapas, esencialmente del municipio de Pijijiapan hasta Suchiate. Cabe hacer mención que el municipio Del Nayar en Nayarit es el único que posee dicha calificación en la región central del Pacífico.

Con base en la figura se encontró que de los 1276 municipios analizados sólo el 26% obtuvo la calificación de muy alto y alto. En comparación con los categorizados como muy bajo y bajo que representan el 53% de la muestra, es decir, más de la mitad de los municipios estudiados son menos susceptibles al riesgo de la lluvia de los ciclones tropicales (Tabla 5.1).

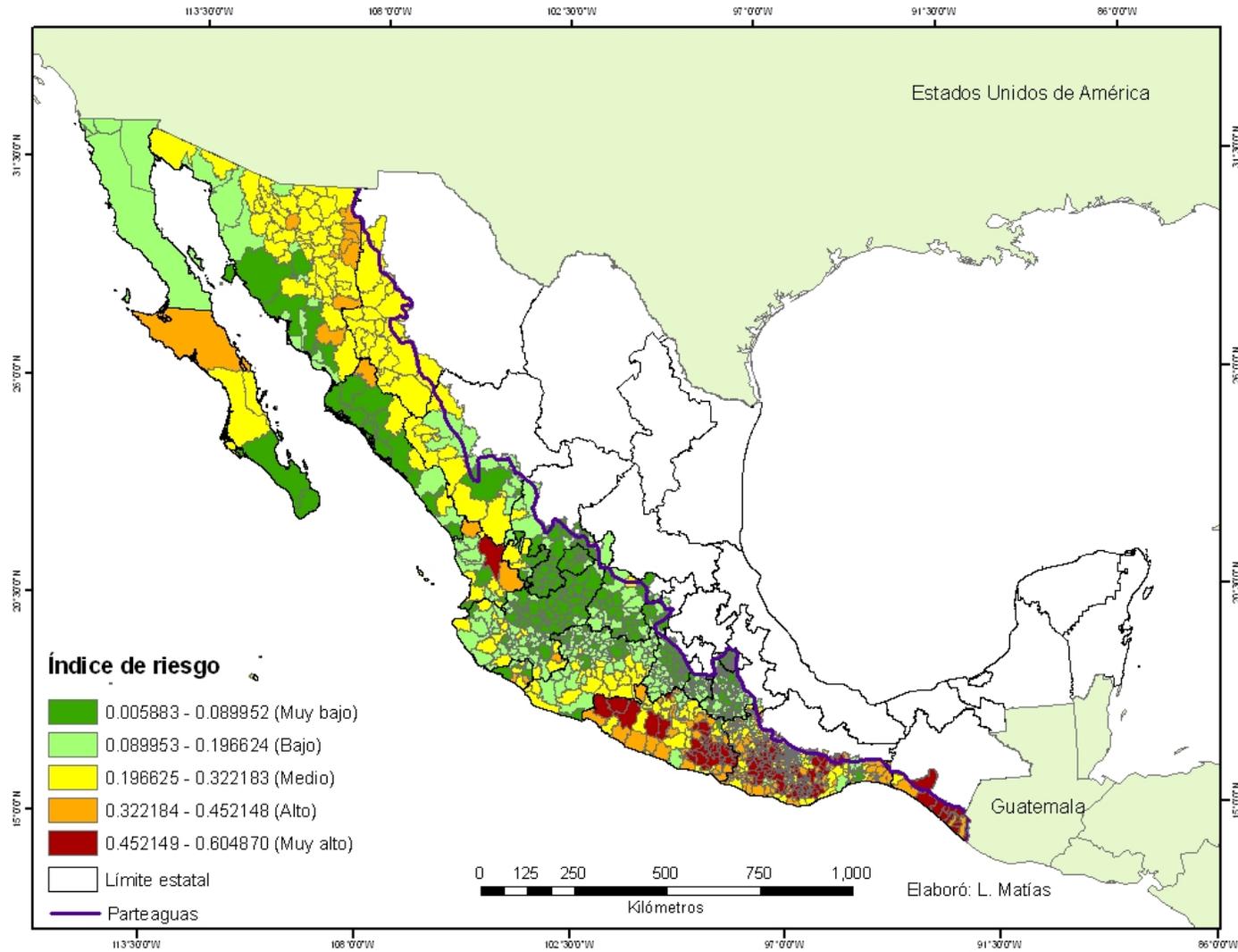
Tabla 5.1 Resultados del índice de riesgo por precipitación ciclónica

| Índice de riesgo | Número de Municipios | Población |
|------------------|----------------------|-------------------|
| Muy alto | 170 | 1,655,872 |
| Alto | 166 | 2,014,399 |
| Medio | 267 | 3,852,309 |
| Bajo | 335 | 12,131,351 |
| Muy bajo | 338 | 30,837,016 |
| Total | 1276 | 50,490,947 |

Fuente: INEGI, 2011

Por otra parte, en la Tabla 5.2 se observa que los estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca poseen municipios en todas las clasificaciones del índice de riesgo, donde destaca Oaxaca con el mayor número de municipios en la categoría de muy alto con 127 y 122 con calificación de alto. En contraste, los 48 municipios de Tlaxcala se encuentran catalogados como muy bajos.

Figura 5.1 Distribución municipal del Riesgo asociado a la precipitación de los ciclones tropicales



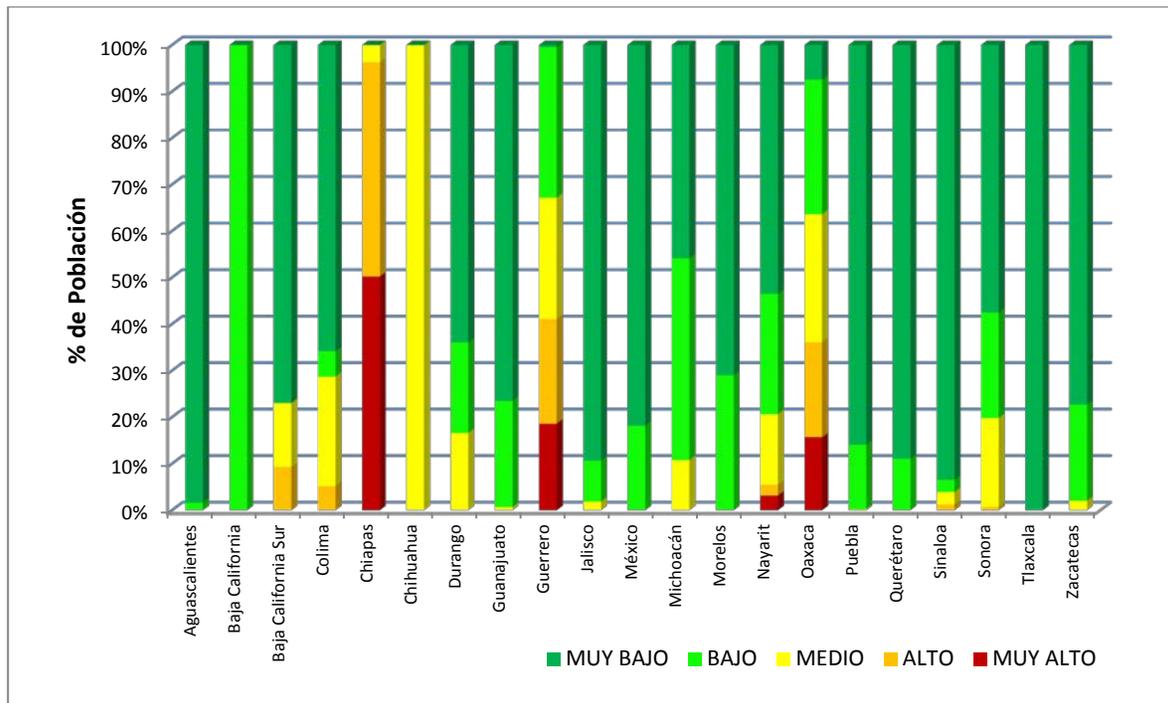
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011

Respecto a la población susceptible al riesgo por precipitación ciclónica sobresale el estado de Chiapas que posee el 48% de sus habitantes en la categoría de muy alto y el 46% en un nivel alto, cabe mencionar que para el análisis sólo se tomaron en cuenta 21 de un total de 123 municipios, que corresponde al 17% del estado (Figura 5.2). En contraste con Guerrero que incluye a todos los municipios del estado, se obtuvo que el 49% de la población es en algún momento afectada por la lluvia de los ciclones al poseer viviendas de materiales débiles.

Tabla 5.2 Índice estatal de riesgo por precipitación ciclónica según categoría

| ESTADO | MUY ALTO | ALTO | MEDIO | BAJO | MUY BAJO | TOTAL |
|---------------------|----------|------|-------|------|----------|-------|
| Aguascalientes | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 11 |
| Baja California | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Baja California Sur | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 5 |
| Colima | 0 | 2 | 3 | 2 | 3 | 10 |
| Chiapas | 16 | 4 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Chihuahua | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 18 |
| Durango | 0 | 0 | 8 | 8 | 2 | 18 |
| Guanajuato | 0 | 0 | 1 | 18 | 23 | 42 |
| Guerrero | 26 | 24 | 23 | 7 | 1 | 81 |
| Jalisco | 0 | 1 | 14 | 43 | 67 | 125 |
| México | 0 | 0 | 0 | 25 | 42 | 67 |
| Michoacán | 0 | 0 | 25 | 69 | 19 | 113 |
| Morelos | 0 | 0 | 0 | 19 | 14 | 33 |
| Nayarit | 1 | 2 | 5 | 8 | 4 | 20 |
| Oaxaca | 127 | 122 | 115 | 51 | 8 | 423 |
| Puebla | 0 | 0 | 2 | 53 | 38 | 93 |
| Querétaro | 0 | 0 | 0 | 4 | 7 | 11 |
| Sinaloa | 0 | 1 | 3 | 2 | 12 | 18 |
| Sonora | 0 | 9 | 45 | 12 | 6 | 72 |
| Tlaxcala | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 48 |
| Zacatecas | 0 | 0 | 2 | 8 | 32 | 42 |
| Total | 170 | 166 | 267 | 335 | 338 | 1276 |

Fuente: INEGI, 2011

Figura 5.2 Porcentaje de la población estatal susceptible al riesgo por precipitación ciclónica

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011

5.3 CONCLUSIONES

Con base en el índice de riesgo por precipitación ciclónica se caracterizó a los 1276 municipios que se encuentran en la vertiente del Pacífico, donde destacan los municipios del estado de Guerrero al presentar 26 de sus 81 municipios con un índice de muy alto riesgo que concentra 631, 151 habitantes. Esta cifra indica que se tiene en promedio 158, 000 viviendas construidas con materiales precarios, las cuales son más susceptibles al daño generado por las lluvias asociadas a los ciclones tropicales. Además de poseer deprimidas características socioeconómicas.

Finalmente, el método propuesto permite comparar valores de riesgo en todas las regiones del país, pero el propósito de esta investigación fue identificar el riesgo en los municipios de la vertiente del Pacífico; sin embargo, éste puede actualizarse y mejorarse, tanto en la dinámica

poblacional como en la peligrosidad de los ciclones tropicales, debido a que la tasa de ocurrencia de los eventos puede calcularse y estimarse nuevamente el índice.

5.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAPO, 2011. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Consejo Nacional de Población. <http://www.conapo.gob.mx>. [última consulta 26 de diciembre de 2012].

Flores, L., López, O., Pacheco, M., Reyes, C. y D. Rivera. 2006. Evaluación de la vulnerabilidad de la vivienda ante sismo y viento. En Guía Básica para la Elaboración de los Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social, CENAPRED, pp. 11-74.

INEGI. 2011. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. <http://www.inegi.org.mx>. [última consulta 6 marzo de 2012].

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el estudio de los riesgos asociados a la precipitación de los ciclones tropicales se utilizó el enfoque alternativo, porque integra la perspectiva de la vulnerabilidad, al incorporar variables socioeconómicas de la población que forman un componente más del riesgo. Además, la vulnerabilidad no sólo marca las dimensiones del desastre, sino que también se refiere a las capacidades de recuperación de los grupos sociales.

El interés por los riesgos de desastres requiere de una visión integral, para ello es necesaria la participación interdisciplinaria que juega un papel muy importante para comprender la multidimensionalidad de los desastres asociados a amenazas naturales.

Por otra parte, la construcción social del riesgo está presente en la región, porque la población crea los riesgos, al construir viviendas con materiales precarios que durante la temporada de lluvias, éstas se encuentran más susceptibles a una de las manifestaciones de los ciclones tropicales, por ello es la principal responsable de los procesos de riesgos y desastres.

En cuanto a la peligrosidad del evento, éste se determinó con base en la probabilidad de que se presenten tormentas tropicales o huracanes de cierta categoría en 90 cuadrantes de 2° latitud por 2° longitud, con base en los ciclones tropicales que han ocurrido en los últimos 60 años en el océano Pacífico nororiental. Se encontró que no existe una relación en la ocurrencia de depresiones tropicales que se han presentado en las diferentes zonas de análisis, por lo que se excluyeron del mismo. Sin embargo, se observó un comportamiento regular para el caso de las tormentas tropicales y los huracanes de categoría 1 a 5. Cabe hacer mención que se utilizó como frontera el parteaguas continental.

El análisis de la probabilidad de precipitación de los ciclones tropicales se realizó con base en el índice de peligro como el cociente del P95 de cada estación entre el valor máximo de los P95 para las 290 estaciones estudiadas en la cuenca del Pacífico. Con base en el índice de riesgo por

precipitación ciclónica se caracterizó a los 1276 municipios que se encuentran en la vertiente del Pacífico, donde destacan los municipios del estado de Guerrero al presentar 26 de sus 81 municipios con un índice de riesgo muy alto que concentra 631, 151 habitantes. Esta cifra indica que se tiene en promedio 158, 000 viviendas construidas con materiales precarios, las cuales son más susceptibles al daño generado por las lluvias asociadas a los ciclones tropicales. Además de poseer deprimidas características socioeconómicas.

Después de la revisión de algunos índices de vulnerabilidad que existen para México, se construyó el índice de vulnerabilidad de la vivienda precaria, donde se trabajó con las características físicas de los inmuebles y el grado de marginación de CONAPO a nivel municipio. No obstante, se hizo mayor énfasis a la vertiente del Pacífico, debido a que es la región en estudio, donde la zona menos favorecida es la Sierra Madre Occidental, el sur de territorio nacional, principalmente los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

El método propuesto para obtener el índice de riesgo por precipitación ciclónica permitió comparar valores de riesgo en la región de estudio; sin embargo, éste puede actualizarse y mejorarse, tanto en la dinámica poblacional porque se observó un incremento de la población en los municipios costeros, debido a las nuevas zonas de oportunidades como las zonas turísticas. Asimismo, en la peligrosidad de los ciclones tropicales, debido a que la tasa de ocurrencia de los eventos puede calcularse y estimarse nuevamente.

Finalmente, la identificación y categorización de los 1276 municipios pueden ser de utilidad para las autoridades de Protección Civil en las siguientes temporadas ciclónicas, debido a que serían los sitios más propensos a las lluvias de los meteoros. Además la calificación de los municipios puede evaluarse en los atlas de riesgo estatal.

LÍNEA FUTURA DE INVESTIGACIÓN

Elaboración de cartografía para la precipitación asociada a ciclones tropicales con diversos periodos de retorno, los cuales serán de gran apoyo para las autoridades de Protección Civil de

los estados e, incluso, la población puede utilizarlos en la construcción de nuevos asentamientos humanos.