

ATLAS DE PELIGROS NATURALES A NIVEL CIUDAD.

CAMPECHE, CAMP.

(Identificación y zonificación)



"Este Programa es de carácter público, no es patrocinado ni promovido por partido político alguno y sus recursos provienen de los impuestos que pagan todos los contribuyentes. Está prohibido el uso de este Programa con fines políticos, electorales, de lucro y otros distintos a los establecidos. Quien haga uso indebido de los recursos de este Programa deberá ser denunciado y sancionado de acuerdo a la ley aplicable y ante la autoridad competente".



CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL CENTRO EPOMEX DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE, EL GOBIERNO MUNICIPAL DE CAMPECHE Y LA SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL, A TRAVÉS DEL PROGRAMA HÁBITAT.



▪ **ELABORADO POR:**

▪ **Álvaro Gerardo Palacio Aponte (Coordinador responsable)**

**Centro EPOMEX de la
Universidad Autónoma de Campeche**



-
- **Rodolfo Silva Casarín**
 - **Eric Gustavo Bautista Godínez**
 - **Gregorio Posada Vanegas**
 - **Gabriel Ruiz Martínez**

**Instituto de Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de México**





CONTENIDO

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	5
▪ Área de estudio.....	6
• Estructura geológica y relieve.....	7
• Hidrología.....	9
• Régimen climático.....	10
• Caracterización edafológica.....	12
CAPITULO II.- MARCO CONCEPTUAL.....	14
▪ II.1. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos,.....	14
desastres, prevención y mitigación	14
▪ II.2. Zonificación de peligros naturales	19
CAPÍTULO III. IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE PELIGROS NATURALES.....	21
▪ III.1.- Peligros geológicos	21
• Sismos históricos.....	21
• Tsunamis.....	23
• Inestabilidad de laderas. Identificación y zonificación de peligro por inestabilidad de laderas.....	26
• Hundimientos.....	28
• Erosión. Identificación y zonificación de la susceptibilidad a la erosión.....	29
• Vulcanismo.....	32
▪ III.2.Peligros hidrometeorológicos.....	33
• Inundaciones. Identificación y zonificación de peligro de inundaciones.....	33
• Inundaciones ordinarias. Identificación y zonificación de peligro por inundaciones ordinarias.....	40
• Inundaciones extraordinarias. Identificación y zonificación de peligro por inundaciones extraordinarias.....	43
• Huracanes. Identificación y zonificación de peligro por huracanes.....	47
• Inundaciones súbitas puntuales. Identificación puntual de inundaciones súbitas.....	65
• Nortes.....	68
• Sequía. Identificación y zonificación de peligros asociados.....	71
• Incendios. Identificación y zonificación de la susceptibilidad a incendios.....	74
• Riesgo hidrometeorológico. Identificación y zonificación de riesgo por inundaciones.....	79
CAPÍTULO IV. PROPUESTAS DE MITIGACIÓN.....	83
• Mecanismos de prevención y alerta ante la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos. .	83
• Capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno. .	90
• Medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno.....	90



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación de la ciudad de Campeche, Camp.....	7
Figura 2.- Variación de los niveles de marea en un ciclo de 24 horas.....	10
Figura 3.- Comportamiento promedio de las precipitaciones.....	11
Figura 4.- Frecuencia y dirección de los vientos en la ciudad de Campeche.....	12
Figura.- 5.- Leptosoles réndzicos sobre los lomeríos que rodean la ciudad Campeche.....	13
Figura 6.- Gleysols vérticos sobre la planicie baja inundable de la ciudad de Campeche.....	13
Figura 7.- Ecuación conceptual de evaluación del riesgo.....	15
Figura 8.- Etapas de respuesta ante la presencia de un fenómeno perturbador.....	17
Figura 9.- Movimientos tectónicos asociados a las evidencias morfoestructurales en Campeche.....	23
Figura 10.- Ubicación de Tsunamis ocurridos en el Mar Caribe.....	24
Figura 11.- Banco de material abandonado, en donde se observan,.....	27
bloques gravitacionales y coluviones pequeños.....	27
Figura 12.- Mapa de zonificación de peligro por inestabilidad de laderas.....	28
en la ciudad de Campeche.....	28
Figura 13.- Mapa de susceptibilidad a la erosión para la zona urbana y suburbana de Campeche.....	32
Figura 14.- Estación Observatorio Meteorológico de Campeche, lluvia horaria.....	37
Figura 15.- Mapa de susceptibilidad del terreno ante la ocurrencia de inundaciones para la zona urbana y suburbana de Campeche.....	39
Figura 16.- Gráfico de los tirantes extremos en cm para inundaciones ordinarias.....	41
por colonias en la ciudad de Campeche.....	41
Figura 17.- Permanencia de inundaciones ordinarias en horas para la ciudad de Campeche.....	41
Figura 18.- Tirante de inundaciones ordinarias en cm para la ciudad de Campeche.....	42
Figura 19.- Zonificación del peligro de inundaciones ordinarias en el área urbana.....	43
y suburbana de Campeche.....	43
Figura 20.- Gráfico de los tirantes extremos en cm para inundaciones extraordinarias.....	44
por colonias en la ciudad de Campeche.....	44
Figura 21.- Permanencia de inundaciones extraordinarias en horas para la ciudad de Campeche.....	45
Figura 22.- Tirante de inundaciones extraordinarias en cm para la ciudad de Campeche.....	46
Figura 23.- Zonificación de inundaciones extraordinarias en el área urbana y.....	46
suburbana de Campeche.....	46
Figura 24.- Huracanes que han afectado la vertiente atlántica mexicana (1949-2005).....	50
Figura 25.- Trayectoria huracán Isidoro y horas de presentación de resultados.....	54
Figura 26.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 65 h en Campeche.....	56
Figura 27.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 71 h en Campeche.....	56
Figura 28.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 100 h en Campeche.....	57
Figura 29.-Patrón de corrientes para toda la costa de Campeche, huracán Isidoro, 71 h.....	58
Figura 30.- Patrón de corrientes para la Ciudad de Campeche, huracán Isidoro, 71 h.....	58
Figura 31.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno T = 10 años.....	59



Figura 32.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno T = 25 años.....	60
Figura 33.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno T = 50 años.....	60
Figura 34.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno T = 100 años.....	61
Figura 35.- Altura regional de ola máxima calculada para la zona de análisis.....	62
Figura 36.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 10 años.....	62
Figura 37.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 25 años.....	63
Figura 38.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 50 años.....	63
Figura 39.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 100 años.....	64
Figura 40.- Zonificación del peligro por huracanes en el área urbana y suburbana de Campeche.....	65
Figura 41.- Inundaciones súbitas puntuales en la ciudad de Campeche.....	66
Figura 42.- Esquema de un frente frío.....	69
Figura 43.- Régimen extremal para vientos medios promediados durante 6 horas.....	70
Figura 44.- Clasificación de la cubierta del suelo en la zona urbana y suburbana de Campeche.....	75
Figura 45.- Clasificación de la cubierta del suelo por tipo de combustible en la zona urbana y suburbana de Campeche.....	76
Figura 46.- Clasificación del terreno según rangos de pendiente en la zona urbana y..... suburbana de Campeche.....	77
Figura 47.- Clasificación del terreno según la orientación preferente de las laderas en la zona urbana y suburbana de Campeche.....	77
Figura 48.-Zonificación de la susceptibilidad a los incendios en la zona urbana y suburbana de Campeche.....	78
Figura 49.- Consolidación de la vivienda en la ciudad de Campeche.....	80
Figura 50.- Densidad de población en la ciudad de Campeche.....	81
Figura 51.- Zonificación de riesgo por inundaciones ordinarias en la ciudad de Campeche.....	82
Figura 52.- Zonificación de riesgo por inundaciones extraordinarias en la ciudad de Campeche.....	82



CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El estudio de los peligros naturales a nivel ciudad, es fundamental para el ordenamiento y la planificación urbana. Permite establecer zonas con diferente vocación o aptitud preferente, en función de los elementos antrópicos amenazados y los potencialmente afectables en el futuro. Asimismo se enfatiza que las situaciones de desastre se presentan cuando las sociedades son incapaces de prever o mitigar los efectos destructivos de un fenómeno natural, y que en realidad, son las formas desordenadas o ineficientes de adaptación las que generan desequilibrios y daños en las ciudades. La interrelación entre el estudio de las amenazas naturales, la intensidad en la ocupación del territorio por la población y la localización de infraestructura, permiten identificar y cualificar los asentamientos humanos amenazados y plantear prioridades de atención y alternativas de solución, dependiendo del tipo e intensidad de peligro natural esperado.

En este contexto, la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), a través del programa Hábitat y los gobiernos municipales y estatales, promueve la realización de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudades, para generar directrices en la ocupación acertada del territorio urbano, en función de las amenazas naturales reales y potenciales. Comprende un conjunto de mapas en donde se identifican, caracterizan y ponderan las amenazas naturales que pueden afectar a la población urbana. Al mismo tiempo la iniciativa de Sedesol, forma parte de la política institucional de “Información para la Planeación y Gestión del Desarrollo Urbano en México”, compatible con la iniciativa de Ordenamiento Ecológico del Instituto Nacional de Ecología (INE), establecida en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), que reglamenta constitucionalmente lo relativo a la protección del ambiente en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Al mismo tiempo, el Atlas contribuye a fortalecer el Sistema Nacional de Protección Civil, dependiente de la Secretaría de Gobernación y cuyo



objetivo es manejar las estrategias preventivas y de mitigación ante la ocurrencia de desastres de origen natural o antropogénico.

El entorno ambiental del territorio donde se ubican las ciudades, es una característica fundamental para entender el origen y significancia de peligros naturales específicos. Así, existe una gran diferencia entre ambientes costeros tropicales bajos kársticos y ambientes de montaña volcánicos templados. Los peligros naturales potenciales, tienen que ver con la historia geológico-tectónica de la región, los regímenes climáticos regionales y locales, y la presión humana sobre equilibrio dinámico de los ecosistemas. Entre más artificiales sean las condiciones, más adecuaciones se tienen que hacer a los índices y procedimientos utilizados tradicionalmente en la caracterización de los eventos o fenómenos naturales peligrosos. El emplazamiento urbano de la ciudad de Campeche, presenta particularidades biofísicas, como su ubicación en ambientes tropicales subhúmedos, su origen kárstico por la génesis geológico-geomorfológica de estructuras tabulares de calizas y la baja y prácticamente nula actividad neotectónica. A continuación se describen con más detalle las características especiales del área de estudio.

■ Área de estudio

La ciudad de Campeche, se ubica en la costa oeste de la Península de Yucatán hacia la cuenca marina del Golfo de México, sobre los 19° 50" de latitud norte y los 90° 30" de longitud oeste. Se encuentra en el sureste de México, dentro de su franja latitudinal intertropical y todos sus eventos meteorológicos están regulados por la movilidad de la zona intertropical de convergencia, el ecuador térmico y la invasión estacional de masas de aire frío. Los ecosistemas originales, están asociados al clima tropical subhúmedo y son principalmente, selvas tropicales desde subcaducifolias hasta subperennifolias, bajos inundables, sabanas y humedales costeros tropicales. La altitud local no rebasa los 90 msnm.

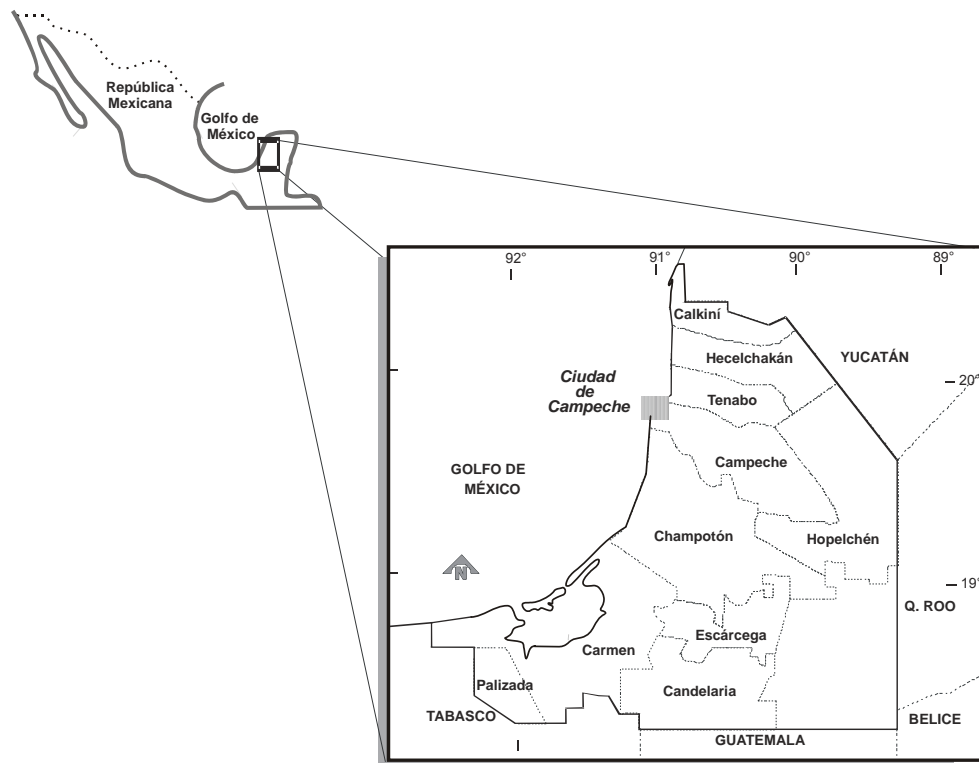


Figura 1.- Ubicación de la ciudad de Campeche, Camp.

■ Estructura geológica y relieve.

La superficie rocosa de la ciudad de Campeche y sus alrededores se caracteriza por tener una relativa homogeneidad en cuanto origen, edad y composición química y mineral. Las rocas son de origen sedimentario típicamente marino constituidas predominantemente por carbonato de calcio (CaCO_3) bajo la forma mineral de calcita, y en menor medida de dolomita y aragonita. Estas rocas forman parte de las formaciones Carrillo Puerto y Miembro Pisté compuestas por calizas marinas blancas o amarillentas, duras y fosilíferas (López-Ramos, 1973), las cuales tuvieron su origen durante el Mioceno (neógeno inferior) hace unos 23 millones de años.

La estructura geológica de la superficie y el subsuelo demuestran que la plataforma estructural que constituye la península actual inició su emersión sobre el nivel del mar durante el Oligoceno y Mioceno en la porción meridional (Lugo Hubp *et al.*, 1992). A medida que se inicia este ascenso continental, el relieve pasa de planicies onduladas a lomeríos fracturados que favorecen el desarrollo de karst subterráneo. El entorno urbano de la ciudad de Campeche se encuentra precisamente entre relieve de transición cárstica de conos y



domos (etapa paleogénica) al sur (Miembro Pisté) y planicies extendidas del norte. Así se presentan lomeríos aislados que conforman subcuencas con divisorias de aguas incompletas que captan los flujos de agua pluvial durante la época de lluvias y planicies bajas limo-arcillosas y rocosas que acumulan el agua en condiciones de lluvia extrema. Los lomeríos son en realidad pliegues bloque con dirección WNW-ESE compuestos por calizas masivas o de estratos delgados con echados subhorizontales de 2° al pie de ladera, 10° sobre los flancos y 15° sobre las pendientes más pronunciadas. Son el resultado de levantamientos eustáticos que permitieron la emersión de planicies estructurales y superficies de nivelación a diferentes niveles altitudinales de 7, 14, 30, 40 y 60m y pendientes agrupadas en rangos de 20 y 40%.

Dentro de la homogeneidad litológica de calizas existen 3 diferencias morfológicas básicas que son: coraza calcárea, calizas blandas subsuperficiales y arenales calcáreos costeros. La coraza calcárea exterior conocida con los nombres regionales de laja o chaltún, es un producto que resulta de un proceso de litificación lento y gradual de la parte superior de los sedimentos calcáreos más blandos. Los espacios porosos son reducidos y su consistencia es muy dura lo que inhibe de manera importante los ritmos de infiltración. Sin embargo si debido a termoclastismo, intemperismo biogénico o rupturas de la roca por asentamientos locales la coraza se rompe entonces la infiltración se acelera. Las calizas blandas subsuperficiales llamadas en lengua maya, sascab que significa tierra blanca, son estratos de sedimentos marinos inmediatos inferiores a la coraza calcárea, de composición calcárea, textura amorfa o cristalina y consistencia suelta. Las dos principales formaciones geológicas en el área de estudio son: Miembro Pisté y Formación Carrillo Puerto.

▪ Miembro Pisté

Su nombre proviene del pueblo situado en los alrededores del Km 117 de la carretera México-Puerto Juárez (No. 180), en la proximidad de Chichén Itzá. Este miembro está representado por calizas blancas o amarillentas, a menudo masivas, a veces en capas más o menos gruesas (López-Ramos, 1973). Los echados son pequeños o nulos dispuestos bastante regularmente, y cuyos ejes tiene una dirección dominante WNW-ESE.

La microfauna es abundante y está representada por algas calcáreas (*Clypeina*) y por numerosos foraminíferos, sobre todo de la familia Valvulinidae (*Orbitolinidae*): *Coskolina floridana* que se puede considerar como el fósil guía del miembro Pisté, *Dictyoconus cookei* (Moberg) *D. americanus* (Cushman); *Lituonella floridana*, Cole; *Clavulina floridana*, Cole, pero también por especies pertenecientes a otras familias: *Gunteria floridana* (Cushman y



Ponton), *Eruptia sp.* o *Carpenteria sp.* *Amphistegina sp.* cf. *A. Lipeztrigoi* D.K.Palmer (*A. Parvula* (Cushman) por Cole). Los miliolidae (*Quinqueloculina sp.* *Triloculina sp.* y *Pyrgo sp.*) son igualmente abundantes.

▪ Formación Carrillo Puerto

Formación Carrillo Puerto 5.25 m para el Pozo Yucatán No. 1. Consiste de caliza pulverulenta a cretosa, blanca con ligero contenido de arcilla café amarillenta (López-Ramos, 1973). Abundantes microfósiles.

En lo general, la secuencia monótona de los cuerpos de caliza y anhidritas constituyen una sola formación o unidad estratigráfica.

La fauna encontrada es la siguiente: en el Pozo Chicxulub No. 1, el Mioceno está formado, en general, por margas de color blanco a crema, suaves, plásticas, con intercalaciones de arcillas del mismo color y escasas de caliza crema, porosa y fragmentos de calcita; en su base a 308 m, aparecen margas gris claro a gris café suaves y plásticas, con intercalaciones de arcillas de igual color y calizas gris crema y gris oscuro compactas, conteniendo cristales de calcita. En estos sedimentos se encontró abundante y bien conservada microfauna, pudiendo citar las siguientes especies: *Robulus vaughani* (Cushman), *Marginulina subacu leata* Cushman, var. *Glabatra* (Cushman). *Saracenaria acutaureicularis* (Fitchell y Moll), *Plectofrondicularia mansfieldi* (Cushman y Ponton), *Bolivina marginata* (Cushman var. *Multicostata*), *Globigerinoides sacculífera* (Brady).

■ Hidrología.

La ciudad de Campeche se localiza en la Región Hidrológica No. 31 Yucatán Oeste y pertenece a la zona Península de Yucatán, abarcando el municipio de Campeche (CNA, 2004). Como consecuencia de la naturaleza cárstica del terreno y su escaso relieve, los escurrimientos superficiales son escasos. Existen pequeñas corrientes superficiales perennes que se originan en resurgencias y desembocan en el Golfo de México, las principales son: El Caguamo, Huaymil, Santa Juana, Moa y la Ensenada.

El acuífero es libre, se encuentra subexplotado y se formó en las rocas carbonatadas del Terciario (calizas fracturadas), las cuales presentan huellas de disolución, fenómeno que origina las dolinas, bajos confinados y pequeñas cavernas. El acuífero presenta productividad muy alta y se aprovecha por medio de 865 pozos profundos y 415 norias cuyo nivel estático promedio es de 3.7 m, haciéndose más somero conforme se acerca a la costa.



En la hidrodinámica costera, las corrientes costeras de deriva litoral, tienen dirección paralela a la costa (Norte-Sur), condición, que en la geodinámica costera, origina costas abrasivo-acumulativas. En un ciclo mareal de 28 días se detectan niveles de entre 0.1 y 0.9 m con alturas promedio entre 0.38 y 0.41 cm. (Kjerfve, 1988) para la costa del Estado de Campeche y hasta casi 0.70 m en la ciudad de Campeche.

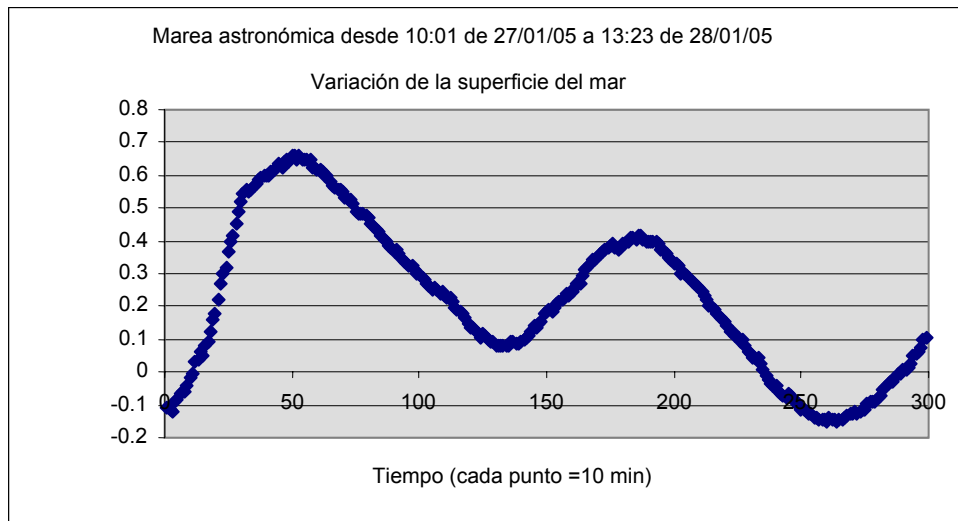


Figura 2.- Variación de los niveles de marea en un ciclo de 24 horas.

Debido a la naturaleza kárstica del terreno natural original, no existen escurrimientos superficiales, por lo que en el balance hidrológico local está regulado por la infiltración y la evapotranspiración. Sin embargo, la creciente sustitución de la vegetación natural por superficies impermeables, ha propiciado escurrimientos artificiales.

■ Régimen climático.

El clima predominante en la zona centro-sur del Estado de Campeche, es del tipo Aw (cálido subhúmedo con lluvias en verano). Es un clima tropical subhúmedo (75% de humedad relativa promedio) ubicado latitudinalmente dentro de la zona intertropical, con todas las implicaciones climáticas que esto representa. Dentro de este tipo climático la temperatura promedio siempre se encuentra por arriba de los 18° C y para la ciudad de Campeche, en alrededor de los 26.4° C. La precipitación media es de 1086 mm anuales (CNA, 2004) y se concentra entre los meses de junio y septiembre (Fig. 3)

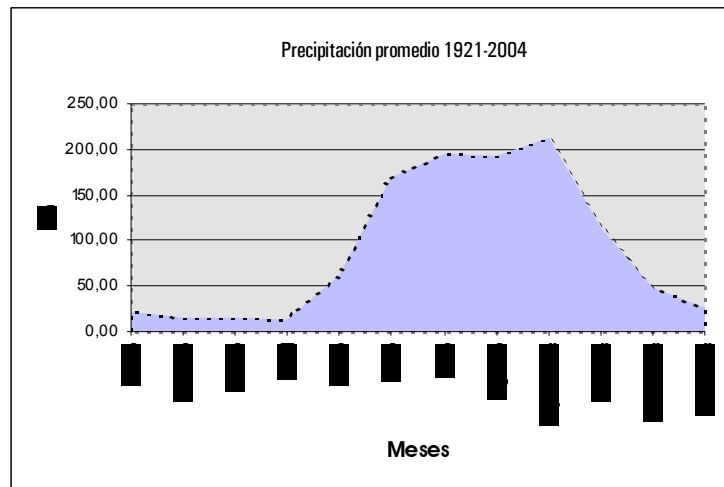


Figura 3.- Comportamiento promedio de las precipitaciones.

La circulación del viento en el Golfo de México durante el verano es principalmente anticiclónica. Los vientos alisios prevalecen en la región central y sur del Estado de Campeche y los promedios de velocidad son mayores durante el invierno (nortes). Aunque los huracanes de efectos destructivos directos son poco frecuentes en la Bahía de Campeche (detalles adelante), cuando ocurren ocasionan importantes daños materiales a las poblaciones y el entorno natural. Se han presentado 24 huracanes desde categoría 1 hasta 4 desde 1866 a la fecha. El oleaje de tormenta y la sobreelevación del nivel medio del mar acompañan frecuentemente a estos fenómenos.

En cuanto al régimen de vientos en Campeche dominan los de dirección E y ESE, de velocidades entre 2 y 6 km/h y rachas de hasta 15 km/h (Fig.4). Las características del viento antes mencionadas reflejan las condiciones atmosféricas promedio observadas durante un periodo mínimo de 20 años. Lo anterior supone la exclusión de comportamientos extremos diurnos y estacionales como brisas tierra-mar, nortes y huracanes.

Aunque la ocurrencia de huracanes en Campeche es poco frecuente sus efectos son muy significativos en términos de afectación a las zonas urbanas. En un radio 500 km alrededor de Campeche han afectado 42 huracanes desde 1949.

En cuanto a los nortes o lluvias invernales existen pocas inundaciones significativas asociadas a estos fenómenos. La afectación se restringe a la línea de costa por efectos asociados lluvia-viento y algunos puntos poco representativos al interior de la ciudad.

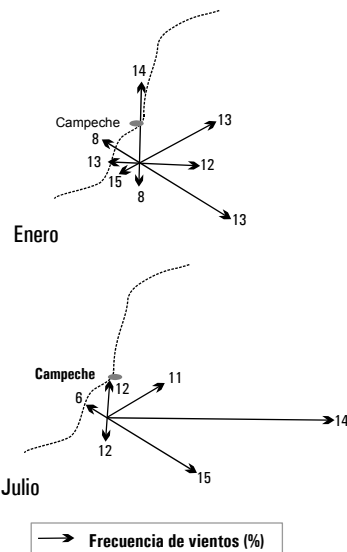


Figura 4.- Frecuencia y dirección de los vientos en la ciudad de Campeche.

■ Caracterización edafológica.

Asociados al relieve encontramos principalmente dos grupos de suelos: leptosoles réndzicos (Fig.5) y gleysoles vérticos (Fig. 6). Los Leptosoles son suelos poco desarrollados, pedregosos y someros que se encuentran sobre las planicies rocosas bajas y lomeríos dispersos o alineados, y son resultado del intemperismo físico y químico sobre las corazas calcáreas del terciario. Por otra parte los gleysoles son suelos hidromórficos condicionados en su pedogénesis a la acumulación de materiales alóctonos y autóctonos, y a la presencia semipermanente de agua que origina condiciones anaerobias de ambientes inundables (bajos inundables o intermareales). Las arcillas que componen su perfil son alteradas por la alternancia de periodos secos y húmedos propiciando microrelieve tipo gilgai o de montículos, la formación de costras salinas y la colonización de vegetación hidrofítica.



Figura.- 5.- Leptosoles réndzicos sobre los lomeríos que rodean la ciudad Campeche.



Figura 6.- Gleysols vérticos sobre la planicie baja inundable de la ciudad de Campeche.

En los leptosoles réndzicos a pesar de ser suelos someros pedregosos, se empiezan a desarrollar texturas de migajón limosa a migajón arcillo-arenosa, con 25% y 40% de arenas respectivamente. Por otra parte, los gleysols presentan texturas arcillosas con más del 78% de arcilla y mantos freáticos cercanos a la superficie (30 cm), en la región sur-sureste de la planicie inundable de Campeche.



CAPITULO II.- MARCO CONCEPTUAL

■ II.1. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos, desastres, prevención y mitigación

El presente *Atlas de Peligros Naturales* tiene la finalidad de dar a conocer los peligros naturales a los que se encuentra sujeta la ciudad de Campeche, incluyendo sus diferentes intensidades y grados de amenaza. Con el fin de evitar posteriores inconsistencias es necesario precisar los conceptos que se utilizarán en este trabajo.

En los distintos trabajos aplicados, que sobre riesgos se realizan, se manejan indistintamente los términos: riesgo, peligrosidad, amenaza, desastre, calamidad, catástrofe, vulnerabilidad y siniestro, entre otros. Esto motivado por perspectivas de índole científica, política, económica, psicológica, sociológica, etc., creando confusiones al tratar de hablar del mismo problema de estudio (Palacio, 1995). A continuación se exponen algunos de uso actual para después referir los utilizados en este estudio.

Riesgo natural (Burton y Kates, 1964). Aquel elemento del medio físico o biológico nocivo para el hombre y causado por fuerzas ajenas a él.

Imagen común de riesgo (Calvo, 1984). Cuando ciertos acontecimientos extremos del medio exceden la capacidad de los procedimientos humanos para absorberlos o amortiguarlos.

Desastre (UNDRO, 1979). Es cualquier rompimiento en la ecología humana resultado de exceder la capacidad de la comunidad para funcionar normalmente.

Riesgo (Turner, 1976). Un evento concentrado en tiempo y espacio, el cual amenaza una sociedad con consecuencias mayores no deseadas como resultado del colapso de las precauciones culturalmente aceptadas como adecuadas.

Area vulnerable (Panizza, 1991). Es definida como la complejidad entera de la población, construcciones, estructuras, actividad económica, organización social y cualquier programa de expansión y desarrollo.

Riesgo ambiental (Panizza 1991). Es la probabilidad de que las consecuencias económicas y sociales de un fenómeno peligroso pueda exceder determinado umbral. Por tanto el riesgo ambiental es igual al producto del peligro ambiental multiplicado por la vulnerabilidad de un área.



Amenaza o peligro (UNDRO, 1979). Definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso, durante cierto periodo de tiempo, en un sitio dado. Concepto central en el que se basa el Atlas de Peligros Naturales.

Con el fin de evitar confusiones, en 1972 por iniciativa de la UNESCO hubo una reunión de expertos sobre el estudio estadístico de los riesgos naturales (Fournier, 1979). En ésta se elaboró una ecuación conceptual bien estructurada y de amplia cobertura, que resultó, después de revisar distintos conceptos en casos aplicados, la conceptualización más completa por abarcar en forma sintética y objetiva los elementos básicos en un estudio aplicado. Incluye componentes naturales como la peligrosidad del fenómeno, y componentes humanas y combinadas como el valor (componente humana, porque la apreciación de valor se la da el hombre) y la vulnerabilidad (componente combinada, porque interactúan aspectos humanos y naturales). Dentro de los tres elementos de la ecuación (Fig.7) se retoma el evento o fenómeno perturbador como componente de enlace entre el nivel perceptivo y el aplicado, pero ahora se define en función de la peligrosidad o amenaza potencial que representa.

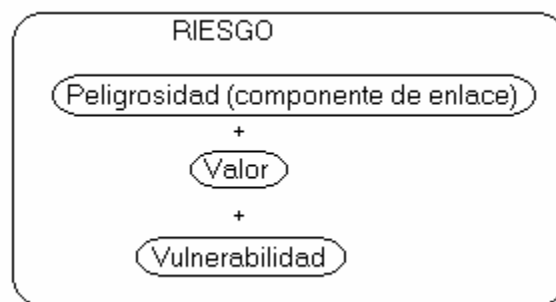


Figura 7- Ecuación conceptual de evaluación del riesgo.

El significado elemental de la ecuación puede ser matizado según la aplicación que se le de, sin embargo, la interpretación más generalizada considera las siguientes ideas. La peligrosidad estudia la agresividad del fenómeno en términos absolutos, es decir, su magnitud física, su ocurrencia y su cobertura espacial, sin considerar aún su afectación al entorno cultural.



El valor estima cuantitativamente la susceptibilidad al daño y/o pérdida de vidas humanas, infraestructura y capacidad productiva por los efectos destructivos del fenómeno, dándole al estudio de la peligrosidad un carácter aplicado.

Finalmente la vulnerabilidad considera las posibilidades técnicas y económicas de prever o mitigar los varios efectos destructivos del fenómeno y la capacidad de la propia naturaleza para absorber el avance del mismo. La vulnerabilidad permite entonces evaluar los grados de exposición de las zonas ocupadas por grupos humanos susceptibles de ser afectados por el fenómeno.

El riesgo representa la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos naturales, con diferentes niveles de afectación; geográfico (localidad o región), geopolítico (municipio, estado, país); fisiográfico o de afectación de los recursos (tipo de suelo, vegetación); y a la actividad humana (población, vivienda e infraestructura).

De acuerdo con la definición anterior, los mapas de riesgo representan gráficamente (en una base cartográfica), la probabilidad de incidencia de uno o varios fenómenos con diferentes características e intensidades y su afectación sobre una población.

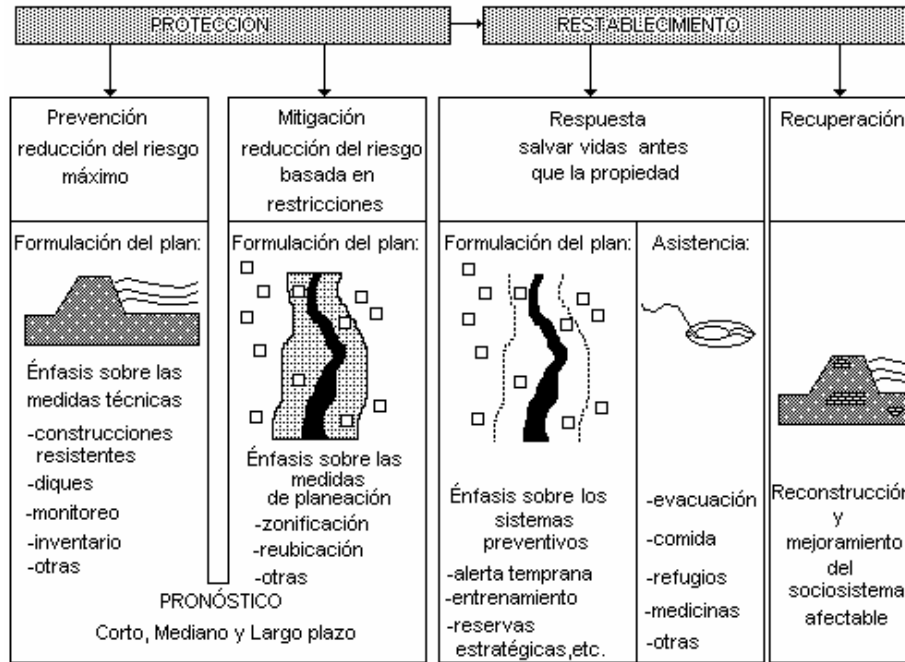
Los desastres se refieren al estado de la población después de sufrir daños severos por el impacto de un fenómeno de origen natural o antropogénico, enfrentando pérdidas humanas, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento de los sistemas de subsistencia (CENAPRED, 2004).

La prevención representa la preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar una situación de riesgo y sus efectos destructivos. Mientras que la mitigación, modera o disminuye los daños. La mitigación esta ligada a la prevención basada en la identificación de riesgos y su objetivo es diseñar acciones y programas para aminorar y reducir el impacto de los desastres, incluso antes de que éstos ocurran.

La metodología aplicada para el *Atlas de Peligros Naturales* se ubica dentro de la fase de protección que incluye dos etapas: la preventiva y la de mitigación (Fig.8). El objetivo de la primera, es prever, reducir o eliminar, en la medida de lo posible, los mecanismos y efectos destructivos generados por y dentro del geosistema perturbador mediante la instrumentación de medidas técnicas que impidan la ocurrencia de desastres. Por otra parte, la mitigación se aplica como conjunto de medidas complementarias orientadas hacia la



planeación y ordenamiento del territorio con el fin de aminorar los daños probables al ecosistema afectable (Palacio, 1995).



Modificada de Verstappen (1992)

Figura 8.- Etapas de respuesta ante la presencia de un fenómeno perturbador.

En lo referente a la fase de restablecimiento se tienen dos etapas : la de respuesta que se refiere a rescate de vidas mediante la aplicación de sistemas preventivos planificados, la rehabilitación de servicios de soporte de vida y la asistencia; y la recuperación, que contempla la reconstrucción y mejoramiento en capacidad de respuesta por parte del socioecosistema afectable.

La capacidad de respuesta es relacionada con la vulnerabilidad técnico-económica, que está determinada por el grado de desarrollo tecnológico y económico del o las poblaciones afectables en un momento histórico dado. Cuando se dispone de recursos técnicos y económicos, siempre se reduce sustancialmente la posibilidad de pérdidas debido a que existen más posibilidades de implementar medidas preventivas y de mitigación. Sewell (1976) expone esta idea a partir del concepto de sofisticación de los ajustes y propone 4 categorías para clasificar las formas de enfrentar los fenómenos perturbadores:

- a) Asimilación de las pérdidas,
- b) Modificación de las medidas preventivas,



- c) Modificación de los procesos físicos, y
- d) Modificación de la susceptibilidad al daño (regulación en los del suelo, códigos de construcción, etc.)

Hasta la fecha es técnicamente imposible prever y controlar todos los fenómenos naturales que ocasionan desastres, por lo que la vulnerabilidad no es aún minimizable al 0%. En el caso de algunos fenómenos naturales de carácter extraordinario (por ejem. nubes ardientes en erupciones explosivas) la vulnerabilidad puede llegar a ser del 100%.

La vulnerabilidad técnico-económica se mide en función de la existencia o no de un conjunto de medidas preventivas que permitan en la práctica reducir los efectos destructivos del fenómeno perturbador. Pueden existir tres medidas básicas: mecanismos de alerta, capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno y medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno (Palacio, 1995).

Mecanismos de alerta. Para poder comunicar a la población afectable la ocurrencia de un fenómeno destructivo, es necesario contar con un sistema de monitoreo constante sobre eventos ordinarios y extraordinarios. Al mismo tiempo el conocimiento temprano de los fenómenos debe tener un sistema organizado de difusión orientado sobre todo a informar a las poblaciones de las áreas más expuestas.

Capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno. En la actualidad cada vez es más frecuente que se intenten intervenir los mecanismos que generan los fenómenos con el fin de reducir sus efectos destructivos. Sin embargo en la práctica no se han alcanzado resultados satisfactorios. Uno de los casos más notables es el proyecto Stormfury que llevaron a cabo los E.U.A. de 1963 a 1971, en el que su director el doctor Cecil Gentry declaró que mediante la siembra de los ciclones con yoduro de plata "la velocidad de los huracanes puede ser reducida en un 15% y hasta en un 30%" y que "es posible pronosticar la trayectoria de los huracanes en un 60% aproximadamente" (Vivó, 1979). Como resultado de este experimento y otros más se ha demostrado que al alterar los mecanismos generadores de los fenómenos se pueden ocasionar comportamientos anómalos de consecuencias aún más impredecibles y destructivas.

Medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno. Si se tienen los recursos económicos y técnicos es posible implementarlas en algunos casos. Para las inundaciones, por ejemplo, es frecuente la construcción de diques de almacenamiento o



desvío de excesos de agua. En algunas erupciones volcánicas las lavas pueden ser desgasificadas mediante explosiones o solidificadas con aguas frías para frenar o desviar su avance. Para el caso de los sismos el cumplimiento de normas técnicas especiales de construcción, hace menos vulnerables las edificaciones u otras construcciones ubicadas en regiones sísmicas. Estos ejemplos muestran que en algunos casos es posible contrarrestar los efectos destructivos de los fenómenos.

Aunque la vulnerabilidad puede ser mayor o menor a niveles locales o regionales, siempre es necesario establecer una apreciación numérica que indique, en el área de cobertura del fenómeno, que tan expuestos están los valores del ecosistema afectable.

■ II.2. Zonificación de peligros naturales

La zonificación de los peligros naturales es el proceso cartográfico mediante el cual se expresa espacialmente, el comportamiento de un fenómeno o evento natural peligroso en función de sus efectos potencialmente destructivos sobre la población y la infraestructura. Se basa en una serie de criterios ponderados a través de capas de información espacial, donde la influencia ponderada de cada elemento, se sintetiza en mapas por rangos de afectación.

La expresión de peligrosidad depende tanto de la complejidad original del fenómeno, de la amenaza que represente y de las condiciones ambientales del territorio sobre las que se desarrolle. Así se tienen tres expresiones generales de peligrosidad: simple, compuesta y secundaria.

Simple. Cuando el fenómeno en sí es el único que representa amenaza o peligro para los territorios ocupados por el hombre (por ejemplo, un sismo).

Compuesta. Se da cuando el fenómeno generador del peligro se manifiesta asociado con otros fenómenos (por ejemplo, un sismo y un tsunami) desencadenados por el original.

Secundaria. Es una peligrosidad derivada o posterior a los efectos destructivos simples o compuestos (por ejemplo, un deslizamiento posterior a un sismo, o un incendio después de una sequía prolongada).



Dependiendo del tipo y calidad de los elementos ambientales, entonces, se podrán ubicar zonas con distintos grados de asimilación o distintas formas de amplificar o disminuir los efectos destructivos del fenómeno. Para cada fenómeno será necesario ponderar, por áreas, los componentes ambientales que hagan más o menos vulnerable una zona susceptible de ser afectada. El término vulnerabilidad ambiental se usa como sinónimo de susceptibilidad del territorio, que es un concepto referido al funcionamiento, fragilidad y capacidad del ambiente físico ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador.

La evaluación general del peligro está compuesta de dos partes: matrices parciales y globales de evaluación general de los peligros naturales y su representación cartográfica. Ambas son el resultado de la síntesis de los valores parciales de peligrosidad y expresan niveles o grados de amenaza.



CAPÍTULO III. IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE PELIGROS NATURALES

■ III.1.- Peligros geológicos

La identificación de peligros geológicos en la ciudad de Campeche, se presenta en fichas técnicas donde se señala la importancia de eventos o fenómenos naturales en términos de peligro potencial. Se describe la historia geológica, las causas de los peligros, así como la amenaza real y potencial que representan para Campeche. Al mismo tiempo, se señalan los eventos o fenómenos geológicos con registro histórico, así como los efectos destructivos o modificadores asociados, que de alguna forma han afectado la ciudad de Campeche y su zona suburbana.

PELIGRO GEOLÓGICO	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Fracturas Fallas Sismos históricos Tsunamis	<p>La ciudad de Campeche se encuentra dentro de la unidad tectónica "Plataforma de Yucatán" alejada de los bordes de colisión o subducción entre placas tectónicas. Debido a esta condición, la significancia en términos de peligro por sismos o fallas, no es considerable, dado que se encuentra fuera de zonas tectónicamente activas.</p> <p>No hay registro histórico ni geológico de fallas activas, sismos y tsunamis.</p> <p>No existen controles morfoestructurales activos que sugieran desplazamiento en fracturas o fallas activas.</p> <p>Con respecto a los tsunamis (expresión de peligrosidad compuesta), no hay evidencias geológicas, ni registros históricos de estos eventos en la región costero-marina del Golfo de México. Las condiciones geológico-tectónicas regionales no han propiciado la ocurrencia de eventos históricos significativos.</p>

■ Sismos históricos.

Dada la importancia de los sismos como eventos naturales generadores de daños a la población y la infraestructura, el primero de abril de 1904 se reunieron en Francia, dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial.



Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano decretó la fundación del Servicio Sismológico Nacional (SSN) el 5 de septiembre de 1910. En ese momento, quedó bajo la responsabilidad del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.

Entre los años 1910 y 1923 se instalaron 9 estaciones sismológicas mecánicas autónomas. La central fue instalada en Tacubaya, D.F. y las foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mérida, Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas (www.ssn.unam.mx).

La Ciudad de Campeche, es una zona considerada históricamente libre de temblores. Sin embargo, en breve podría ser incluida en la lista de las regiones del país con actividad sísmica, debido a que en algunos sitios del Estado, se ha presentado el fenómeno, aunque con magnitudes menores en la escala de Richter. En el Estado de Campeche, hay un sismógrafo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que se encuentran en Sabancuy, Campeche.

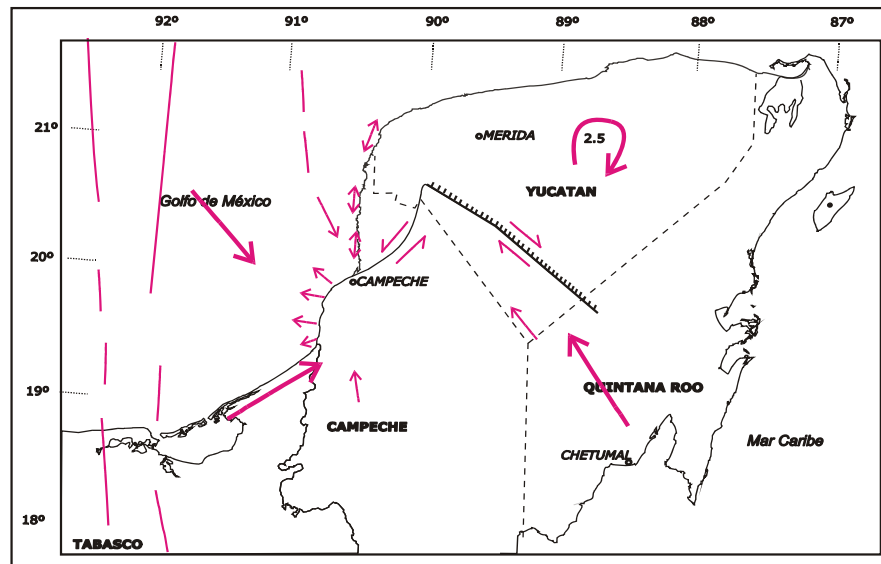
Según Javier Pacheco Alvarado, director del Servicio Sismológico Nacional (SSN), científicos de la UNAM y de las Universidades de Guadalajara y Wisconsin, encontraron un desplazamiento de la Península de Yucatán hacia el Este, respecto al resto del continente, con un ritmo de 2.5 cm/año (Fig.7). Debido a este movimiento, en la Península ocurre un temblor cada uno o dos años y siempre son menores de 4.6 grados en la escala de Richter, de poca duración y sin efectos destructivos.

En el Estado de Campeche, se han detectado algunos sismos. El 3 de junio de 1998, el SSN reportó un sismo de 4.4 grados Richter, con localización epicentral en Champotón con varias réplicas en los días subsiguientes. Debido a las intensidades no se registraron daños. Aunque no se descarta su ocurrencia futura, su significancia en términos de afectación histórica y zonificación no es relevante.

En la ciudad de Campeche y sus alrededores no existen evidencias morfoestructurales de actividad neotectónica. Las morfoestructuras alineadas que existen, pueden datar del Plioceno y son evidencia de transcurrencias con movimiento lateral derecho, en el caso del escarpe Campeche-Mérida (Fig.9), y lateral izquierdo en la Sierrita de Ticul (Propuesta teórica original del Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez, Instituto de Geografía, UNAM). En el balance regional de movimientos para la unidad tectónica "Plataforma de Yucatán" se ha comprobado un movimiento hacia el Este en el sentido de las manecillas del reloj, que no tiene consecuencias en sismos de intensidad considerable (arriba de 5 grados



en la escala de Richter). Otra evidencia de la casi nula actividad tectónica reciente, son las superficies de nivelación (plataforma de erosión) ubicadas en las cimas planas de los lomeríos circundantes a la ciudad de Campeche. Estas superficies demuestran, que durante largos periodos geológicos, los procesos morfoestructurales o de modelado por erosión del relieve regional, han dominado por sobre los esfuerzos tectónicos generadores de relieve conspicuo.



(Planteamiento teórico original del Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez, Instituto de Geografía, UNAM).

Figura 9.- Movimientos tectónicos asociados a las evidencias morfoestructurales en Campeche.

■ Tsunamis.

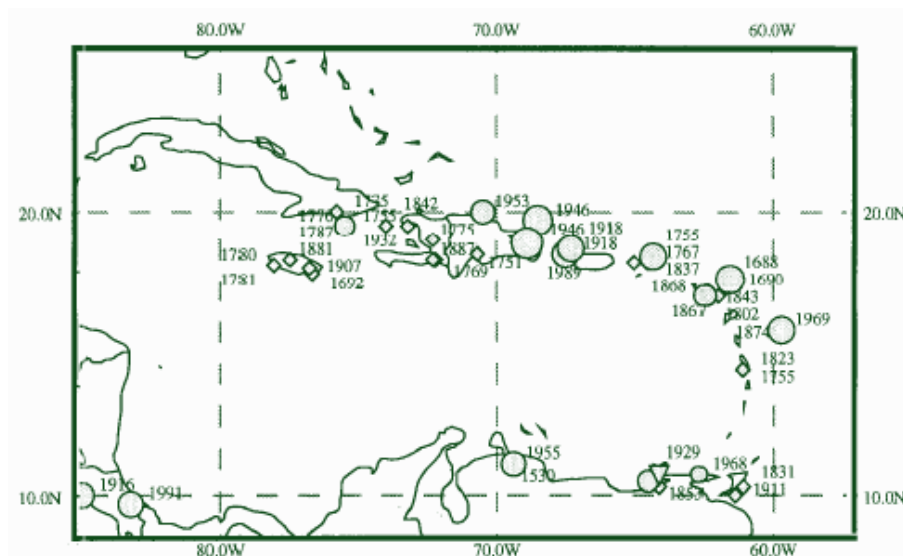
Los Tsunamis, como peligro asociado a sismos, son una amenaza natural de gran impacto para las poblaciones costeras. Son olas oceánicas potencialmente desastrosas, extraordinarias, causadas por fenómenos geológicos submarinos (sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos). Se han asociado, principalmente, con las márgenes tectónicas activas de las placas en el Océano Pacífico, donde de hecho ocurre la gran mayoría de estos relativamente escasos fenómenos y en donde se han concentrado la mayoría de las acciones para su estudio y prevención. Sin embargo, en el Caribe también ocurren tsunamis, generados por sus márgenes tectónicamente activas. Los catálogos históricos muestran que el fenómeno es comparativamente escaso en la cuenca del Caribe y el Golfo de México, y



que las costas mexicanas del Golfo, están alejadas de las fuentes sísmicas más importantes, en la zona de subducción de las Antillas Menores (Fosa Caimán).

El catálogo sísmico del Caribe de *Grases (1994)* reporta los siguientes Tsunamis (Fig.10):

1. Cumaná (Venezuela) 1530, 1630, 1929
2. N de Panamá central 1882
3. Panamá occidental 1916
4. Antillas Menores y Cuba 1755 (tsunami del terremoto de Lisboa)
5. Jamaica (Port Royal) 1692
6. Española, costa norte 1842
7. Islas Vírgenes, Puerto Rico,
8. Guadalupe y Granada 1867
9. Haití 1887
10. Jamaica 1907
11. Puerto Rico 1918
12. República Dominicana (norte),
13. Cuba y Puerto Rico 1946



Lander & Lockridge, 1989

Figura 10.- Ubicación de Tsunamis ocurridos en el Mar Caribe.

El catálogo de Tsunamis del National Geophysical Data Center (Lander & Lockridge, 1989) tiene reportes de tsunamis importantes solo en la parte norte de las Antillas Menores y las Antillas Mayores occidentales (Puerto Rico y Española). La mayoría de estos eventos son de regiones relativamente pequeñas; para ninguno se presentan testimonios de impacto a distancias transcaribe. Llama la atención que varios eventos grandes en la parte



norte del arco antillano (1842, 1867) tuvieron reportes en sitios hasta el sur del arco (Granada), pero no en las márgenes sur y occidente del Caribe.

El región marina del Golfo de México-Mar Caribe tiene asociada, en términos de tectónica submarina de placas, el área confinada por Suramérica, Centroamérica y el arco de las Antillas Mayores y Menores y que constituye en su mayor parte la “Placa del Caribe”, a su vez insertada entre placas mayores (Norteamérica, Suramérica). Por definición, todo el contorno de esta placa es tectónicamente activo, con sistemas de fallas laterales, divergentes y convergentes. El arco de las Antillas Menores, desde el norte (Española) hasta Trinidad en el sur, es una zona de subducción. Aquí la placa del Atlántico converge hacia y por debajo de la placa Caribe. Desde el área de Trinidad hasta el NE de Colombia domina el régimen de desplazamiento lateral (sistemas de falla Pilar, Oca). Desde el NE de Colombia hasta la región limítrofe de Panamá y Costa Rica corre una franja de compresión (Cinturón Deformado del Norte de Panamá y el Cinturón Deformado del Sur del Caribe). Desde el sur de Costa Rica (*Fan et al.*, 1993) hasta Guatemala se ubica el límite entre la placa Caribe y la placa de Cocos (Falla Polochic-Motagua), hacia el lado W del área continental, misma que posteriormente concurre hacia la Fosa Mesoamericana en el Océano Pacífico. La sismicidad de magnitudes grandes, en cuanto a límites de la placa en regiones marinas, se concentra (Panagiotopoulos, 1996) en el segmento del arco antillano que va desde 14°N (Aspinall et al., 1994) hasta el lado norte de la Española.

Por la inexistencia de antecedentes de Tsunamis asociados sísmicos históricos en el Golfo de México, y debido a la estabilidad tectónica relativa de la Península de Yucatán, en sus márgenes oceánicas hacia el Golfo de México, se concluye que la posibilidad de ocurrencia de Tsunamis de carácter destructivo en Campeche, es remota. La actividad sísmica más cercana se encuentra en el Mar Caribe y sólo se ha registrado 13 Tsunamis en 500 años, por lo que su frecuencia relativa no llega ni a tres eventos por siglo, y ninguno ha mostrado efectos trascendentes sobre la zona costera de Campeche.

PELIGRO GEOLÓGICO	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Deslizamientos Derrumbes Flujos	Las condiciones naturales de la región, como la pendiente (mayor 2° y menor 15°), la baja energía del relieve (90 m sobre el nivel de base general, que es el local), la ausencia de flujos de agua superficial, cortezas de intemperismo de espesores mínimos, suelos poco desarrollados, lluvias menores a 1100 mm anuales, homogeneidad litológica y morfoestructuras tabulares, evitan la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. Estos peligros naturales se descartan para la ciudad de



Campeche, salvo en el caso de caída de rocas y deslizamientos traslacionales locales de suelos, por la pérdida de la estabilidad en la base de las laderas por causas antrópicas. Es decir fenómenos de remoción en masa asociados a intervención humana.

En la siguiente Tabla (Tabla1) se muestran las características ponderadas que se consideran peligrosas en términos de inestabilidad de laderas (Ambalagan, 1992) para taludes en zonas tropicales.

Tabla 1.- Factores que condicionan la inestabilidad de laderas.

Factor	Categoría	Peso relativo
Morfometría Pendiente de los taludes	Más de 45°	2.0
	36° a 45°	1.7
	26° a 35°	1.2
	16° a 25°	0.8
	Menos de 15°	0.5
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	Menos de 100 metros	0.3
	101 a 300 metros	0.6
	Más de 300 metros	1.0
Uso de la Tierra	Área Urbana	2.00
	Cultivos anuales	2.00
	Vegetación intensa	0.80
	Vegetación moderada	1.20
	Vegetación escasa	1.50
	Terrenos áridos	2.00
Aguas subterráneas	Inundable	1.0
	Pantanosos	0.8
	Muy húmedo	0.5
	Húmedo	0.2
	Seco	0.0
Amenaza total	Descripción	Suma de los pesos
I	Amenaza muy baja	3.5
II	Amenaza baja	3.5 a 5
III	Amenaza moderada	5.1 a 6.0
IV	Amenaza alta	6.1 a 7.5
V	Amenaza muy alta	7.5

Para el área de estudio la peligrosidad o amenaza está incluso por debajo del rango más bajo. Sin embargo, si se presentan puntualmente casos de inestabilidad de taludes por caída de rocas y deslizamiento traslacional de suelos.

■ Inestabilidad de laderas. Identificación y zonificación de peligro por inestabilidad de laderas.

La caída de rocas consiste en su desprendimiento de una ladera empinada y su precipitación por efecto de la gravedad. A diferencia del derrumbe, es de volumen menor pero más frecuente. Se la conoce también como deslaves y se puede observar como algo



común a lo largo de vialidades que atraviesan lomeríos, durante las lluvias intensas o prolongadas.

La caída de rocas como proceso de inestabilidad de laderas característico en Campeche, esta asociado a la pérdida inducida por el hombre, de la base morfoestructural de las laderas. En general, las laderas, que naturalmente no superan los 16° de inclinación y que por su naturaleza geológica no son susceptibles a la inestabilidad (Fig.11), se convierten en paredes con movilidad gravitacional, al introducir vías de comunicación, construir unidades habitacionales y explotar bancos de material calcáreo.



Figura 11.- Banco de material abandonado, en donde se observan, bloques gravitacionales y coluviones pequeños.

Para identificar y caracterizar las zonas de peligro real y potencial por inestabilidad de laderas (Fig.12), se detectaron puntos de inestabilidad en un mapa de pendientes (elaborado en ArcGis 8.2 con base en el modelo digital escala 1:50,000 de INEGI), se identificaron visualmente las paredes inestables mediante una imagen Quickbird (resolución 0.60 m por píxel) y finalmente se verificaron y complementaron en campo. Debido a la naturaleza carbonatada blanda de las calizas margosas y las corazas calcáreas masivas y micríticas rígidas menos abundantes, se identificaron coluviones que en la mayoría de los casos no rebasan los 15 cm de diámetro, salvo en los lugares donde se fracturan bloques de



corazas calcáreas, que pueden originar bloques 0.15 m y 3.0 m de eje principal. Se delimitaron tres zonas por frecuencia de coluviones y distancia asociada de afectación: peligro alto en un área de 10m inmediatos a la línea de escarpe, peligro medio en un área de 20m y peligro bajo en un área de 30m.

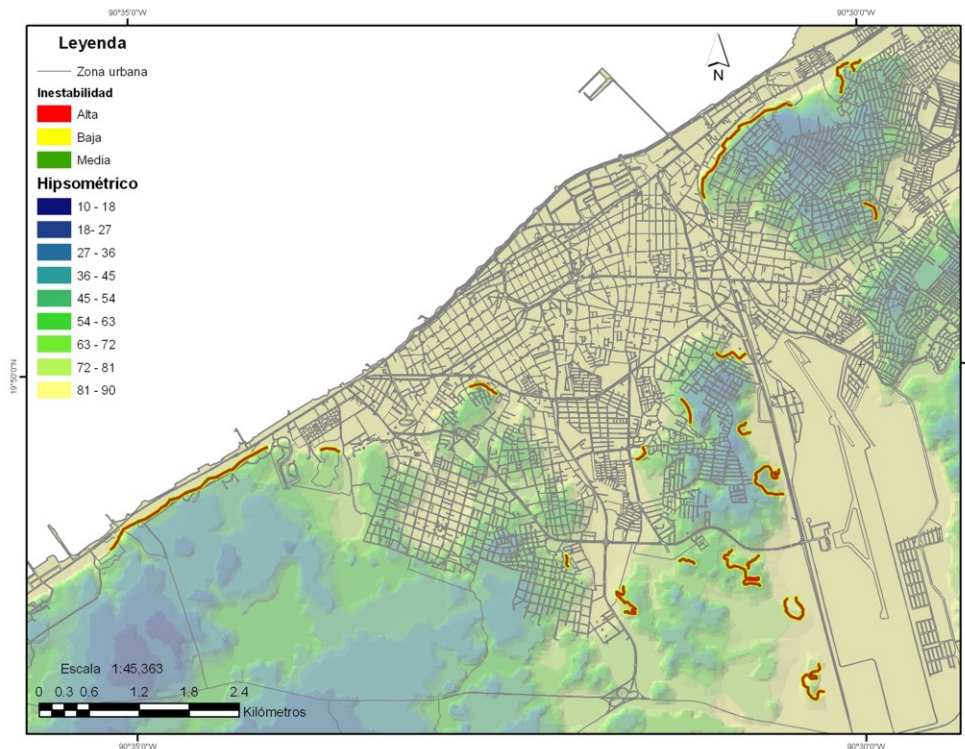


Figura 12.- Mapa de zonificación de peligro por inestabilidad de laderas en la ciudad de Campeche.

PELIGRO GEOLÓGICO	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Hundimientos	Con respecto al peligro por hundimiento, la profundidad y el tipo de suelo, así como los estratos subhorizontales de roca, no presentan condiciones para hundimientos diferenciales superficiales. Sin embargo, debido a la naturaleza cársica en la zona si se presentan hundimientos por disolución.

■ Hundimientos.

Se pueden presentar hundimientos asociados a la disolución por procesos cársicos. Debido a la corrosión por agua sobre materiales litológicos susceptibles de ser disueltos, como el carbonato de calcio, se pueden presentar colapsos gravitacionales de las capas superiores de roca. El peligro se mide en función de la proporción relativa de



componentes solubles (carbonatos de calcio, magnesio o yeso) y de las diaclasas, grietas o intersección de fracturas y estratos subsuperficiales inestables, donde la roca es más susceptible en términos de disolución.

PELIGRO GEOLÓGICO	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Erosión	La ciudad de Campeche como zona urbana, se encuentra cubierta por algún tipo de material artificial (asfalto, concreto, etc.), por lo que en términos prácticos no se puede considerar erodable. Las zonas que pueden ser susceptibles a la erosión son las áreas suburbanas que aún presentan cobertura vegetal y relieve con suelos expuestos.

■ **Erosión. Identificación y zonificación de la susceptibilidad a la erosión.**

La erosión es la consecuencia de la remoción, desprendimiento y arrastre del suelo. Se le considera el factor desestabilizante más importante de los ecosistemas terrestres, y puede cambiar significativamente la proporción de intercambio orgánico e inorgánico con efectos drásticos inmediatos y a largo plazo, entre ellos; el movimiento de la materia orgánica, la exposición del suelo mineral, la disminución en la retención de agua, nutrientes y compactación del suelo. El obtener de nuevo materia orgánica, humedad y nutrientes reutilizables puede llegar a tardar cientos de años, ocasionando que el ecosistema llegue a un nivel primitivo de desarrollo con una baja producción (Campos, 1987).

La vulnerabilidad del suelo a la erosión depende entre otros factores del clima, (precipitación pluvial, radiación, temperatura y viento); de la topografía; de la condición del suelo (textura, estructura y estado nutrimental) y de la vegetación. Entre las causas antropogénicas que desencadenan este proceso se pueden mencionar las que están relacionadas con la pobreza y el subdesarrollo, como el cultivo en suelos frágiles, la reducción del tiempo de descanso de la tierra, la falta de prácticas de fertilización química y orgánica, el sobrepastoreo, el uso de fuego en pastizales y principalmente, la sustitución de cubiertas naturales por artificiales (zonas urbanas y suburbanas).

El desconocimiento de las consecuencias de prácticas inadecuadas en el uso de suelo, es el punto de origen de los procesos de degradación. Existen otros factores que inciden, como son la sobrepoblación, las presiones socioeconómicas y políticas, y las tradiciones culturales (Contreras H., 1994).

La erosión se debe a la eliminación acelerada de los materiales edáficos por acción de corrientes de agua (hídrica), el viento (eólica) o el arrastre gravitacional y es un



proceso natural que ha existido a través del tiempo geológico, sin embargo, algunas actividades humanas han acelerado el proceso mucho más allá del ritmo normal (erosión antrópica).

La erosión natural por lo general ocurre a un ritmo muy lento en las zonas forestales. Los derrumbes, arrastres, deslizamientos y flujos son las formas más conspicuas de erosión natural, por lo general se confinan a las pendientes más pronunciadas. La pérdida de suelo superficial en suelos nativos son mínimas y raramente exceden a los 100 kg/ha/año (Megeahan, 1972). Los principales tipos de erosión son:

- Erosión hídrica. Se refiere a la remoción del suelo por la acción del agua. Este proceso incluye efectos que aparecen en cuatro modalidades principales: la erosión laminar (remoción generalizada de la capa arable del suelo por el impacto del agua de lluvia); la formación de surcos (pequeños canales que se generan en la superficie del suelo); la erosión en cárcavas y el movimiento masivo de tierras (desprendimiento de tierra).
- Erosión eólica. Se define como el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo ocasionados por el viento. Se presentan en zonas áridas y semiáridas, pero puede ser importante en las áreas con lluvias estacionales, cuando la vegetación es escasa o inexistente durante la estación seca. La pérdida de suelo por erosión eólica pueden llegar hasta 300 ton/ha/año.
- Erosión por arrastre gravitacional. Este es un proceso natural que ha existido y por lo general ocurre a ritmos muy lentos (Megeahan, 1972). En términos geomorfológicos, se estaría refiriendo a la reptación del suelo.
- Erosión inducida (antrópica). Tiene como causas principales la destrucción de la vegetación natural, el sobrepastoreo, las prácticas agrícolas inadecuadas, la tala inmoderada y la sustitución de cubiertas originales del suelo. Sin embargo, la perturbación del suelo por la tala y las operaciones por construcción de carreteras y la labranza del terreno puede producir movimientos del suelo y la subsecuente sedimentación cuesta a bajo, salvo que se trate de un terreno relativamente plano. La intensidad del proceso está influenciado por la duración y el nivel de la precipitación pluvial, la longitud e inclinación de la pendiente, las propiedades inherentes a la estabilidad del suelo, la tasa de infiltración y el tipo de cubierta vegetal del terreno y grado de alteración de la misma (Megeahan, 1972).

En México el valor del índice climático de agresividad de la lluvia (FAO, 1980) varía de ligero a moderado, considerando que el 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a 10%, esta situación aunada a una escasa cobertura vegetal al inicio de las



lluvias, incrementa el riesgo de la erosión hídrica en más del 70% del territorio, llegando a ser extrema en un 9% del país.

La vegetación es la principal protección de los suelos y de los efectos directos de la precipitación y las corrientes (Bormann y Likens, 1979). La cubierta forestal tiene efectos directos importantes sobre los regímenes hidrológicos, disminuyendo la pérdida de agua por intercepción, absorción radical y evapotranspiración. A pesar de reconocerse la gran importancia de la vegetación, desde mediados del siglo pasado, se han venido devastando cambios drásticos en el uso del suelo, producto de las concesiones para la explotación de los recursos, así como el cambio en el uso del suelo.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad a la erosión (Fig.13), se integraron las capas de cubierta urbana y suburbana del suelo y los rangos de pendientes. Debido a la homogeneidad de los suelos en dos principales tipos (leptosoles y gleysoles) y a la creciente degradación o sustitución de cubiertas naturales por artificiales, se utilizó como criterio principal, la cubierta vegetal aun disponible y la inclinación del terreno como disparador de procesos gravitacionales y de arrastre en suelos descubiertos. Se ha demostrado que el dosel del bosque (intercepción por follaje), retiene una porción de la precipitación que posteriormente puede regresar a la atmósfera vía evaporación. La cantidad de intercepción varía de 10-35 % de la precipitación total. Como es de suponerse la cantidad de follaje por unidad de área entre otras variables determina la cantidad de agua retenida en el dosel. El general los bosques de Oyamel y Pseudotsuga retienen más que los pinos y a sus ves estos retienen más que la especie de hoja ancha (Waring and Schlesinger, 1985). En un bosque tropical caducifolio de México, se requieren precipitaciones de más de 100 mm para que el agua de lluvia pueda llegar al suelo (Galicia *et al.*, 1999). Otra porción de la lluvia escurre por los troncos de los árboles y puede representar el 12% de la precipitación (Waring and Schlesinger, 1985) y el mantillo del suelo, también retiene agua de la lluvia. Una unidad de peso de mantillo retiene dos veces más su peso. Se estima que en los bosques, la intercepción en matillo es de alrededor del 5% y dependiendo de su profundidad, la intercepción puede llegar al 17% (Pritchett, 1986).

En función de los criterios anteriores y partiendo del supuesto de que a mayor presencia de estratos vegetales (herbáceo, arbustivo y arbóreo), suelos originales con humus, y menor pendiente, la capacidad del terreno para retener el suelo es mayor, la cubierta del suelo se reclasificó en función del tipo y su respuesta relativa ante susceptibilidad a la erosión hídrica en 3 grupos: baja (selva mediana), media (selvas bajas) y



alta (pastizales naturales e inducidos, sabanas y zonas agrícolas). Las pendientes se reclasificaron en: baja (0° - 7° planicies subhorizontales), media (7.1 - 12° declive transicional) y alta ($> 12.01^{\circ}$ taludes y/o escarpes). De la ponderación relativa de ambas capas de información se obtuvieron 3 clases de susceptibilidad a la erosión: baja, media y alta.

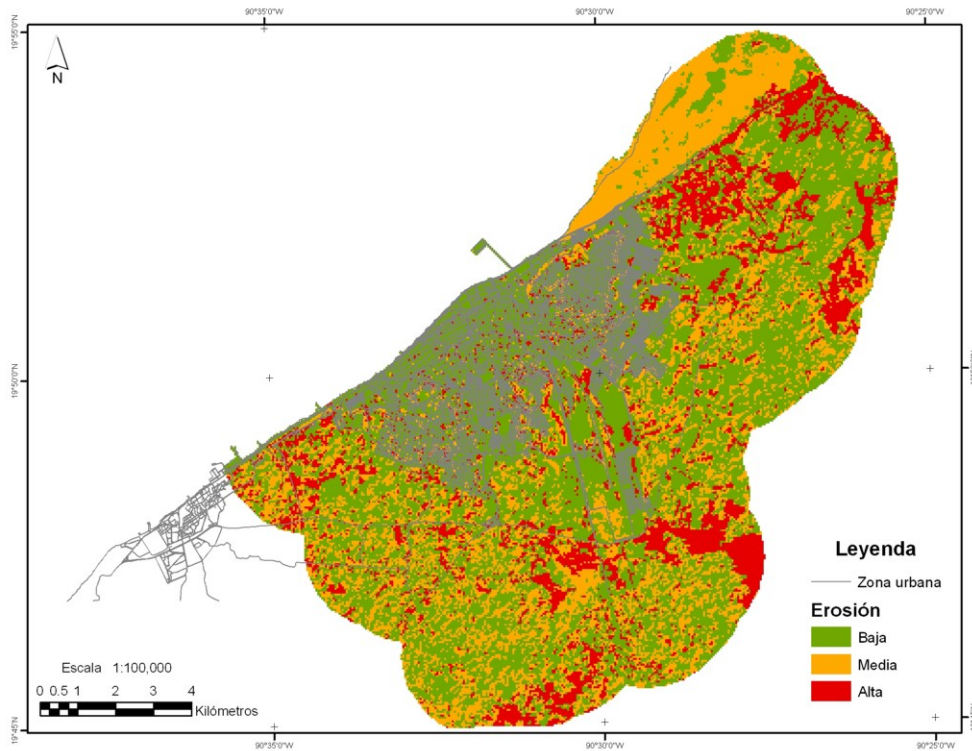


Figura 13.- Mapa de susceptibilidad a la erosión para la zona urbana y suburbana de Campeche.

PELIGRO GEOLÓGICO	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Vulcanismo	El Estado de Campeche, es una zona sin actividad volcánica. Debido a su origen geológico-tectónico sedimentario de mares someros, y de formación de evaporitas durante el Mesozoico. Su origen sedimentario alejado de fallas corticales y zonas de subducción cancela cualquier posibilidad de actividad tectónica y vulcanismo asociado.

■ **Vulcanismo.**

Este fenómeno es de incidencia ocasional indirecta para el Estado de Campeche. El evento más relevante asociado a la actividad volcánica, fue la caída de cenizas ocasionada por la erupción explosiva del Volcán Chichón o Chichonal (Chiapas) el 28 de



marzo de 1982. Durante cuarenta minutos la columna eruptiva abarcó 100 km de diámetro por casi 17 km de alto, llevando así en la madrugada del día 29, una lluvia de ceniza por los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche y parte de Oaxaca, Veracruz y Puebla.

En Campeche, solo en los alrededores de Escárcega se formaron capas de 5 a 7 cm de espesor de cenizas. Su dispersión está condicionada por el patrón de vientos regional y su llegada a la estratosfera.

■ III.2. Peligros hidrometeorológicos

La ciudad de Campeche se ubica en una zona de peligro por lluvias torrenciales tropicales y huracanes. Representa el peligro natural de mayor interés para la ciudad por la magnitud de sus efectos, tales como las inundaciones, la intensidad de los vientos, la erosión costera por oleaje y la marea de tormenta.

PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
<p>Sistemas Tropicales</p> <p>Ondas tropicales Lluvias extraordinarias Tormentas Huracanes Inundaciones Mareas Masas de aire y sistemas frontales Vientos</p>	<p>Los sistemas tropicales representan una compleja asociación de eventos meteorológicos. Inicialmente los vientos alisios del noreste se intensifican en una vaguada que atrae las lluvias desde principios de mayo. La baja presión ecuatorial se desplaza hacia el norte y atrae los vientos de un centro de alta presión en el Océano Atlántico. Posteriormente y con diferentes frecuencias se presentan depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes.</p> <p>Las consecuencias de estos eventos se identifican como de peligrosidad compuesta: inundaciones, marea de tormenta, vientos ciclónicos, sobrelavado y erosión costera.</p> <p>Las masas de aire y los sistemas frontales (nortes) no representan peligros importantes ya que ocasionan inundaciones ocasionales de poca altura y poca permanencia.</p> <p>Las lluvias se observan como peligros cuando se asocian a eventos como las lluvias torrenciales de temporada o los huracanes y ocasionan inundaciones.</p> <p>Los peligros serán descritos en inundaciones ordinarias por lluvias torrenciales de temporada e inundaciones extraordinarias por huracanes según la conjunción de vientos ciclónicos y marea de tormenta.</p>

■ Inundaciones. Identificación y zonificación de peligro de inundaciones.

Las inundaciones son resultado combinado de la susceptibilidad del terreno al balance escurrimiento-infiltración y los aportes de precipitaciones por arriba de la media que el terreno es capaz de absorber. En cuencas interceptadas como las zonas urbanas es



especialmente complejo evaluarlas y construir sus escenarios de afectación por la variabilidad en los tipos de superficies, las modificaciones al relieve y las obras de drenaje.

Sin embargo, para discriminar en forma inicial las zonas inundables, de las no inundables, es fundamental conocer la predisposición dinámica del relieve. Este concepto se refiere a la facilidad o inhibición que presenta el terreno ante la movilidad de escorrentías superficiales. Considera la delimitación de unidades del terreno con distintos grados de susceptibilidad a la inundación en función de los niveles de inhibición o incremento de la escorrentía y la infiltración. En Campeche se pueden identificar las zonas inundables a partir de la planicie baja acumulativa y las no inundables sobre los lomeríos y parteaguas circundantes.

Para caracterizar el origen, comportamiento y peligrosidad de las inundaciones, se recopiló toda la información bibliográfica, hemerográfica e iconográfica disponible sobre las características de las inundaciones históricas. Asimismo se realizó un muestreo de campo estratificado de alrededor de 401 puntos (cada 2 casas por calles inundables) con sus respectivas fichas técnicas, para diferenciar las respuestas locales del terreno ante las inundaciones. El conjunto de datos en campo se organizó en una base de datos en Excel, misma que fue transformada a formato Dbase e incorporada al Arcview 3.X.

El comportamiento espacio-temporal de las inundaciones en Campeche, se resume en la siguiente Tabla (Tabla 2).

Año/mes	Día	Fenómeno meteorológico	Lugar	Características y/o efectos
1464/-	-	Huracán	-	Evacuación de comunidades
1516/-	-	Lluvia torrencial	-	Evacuación de comunidades
1769/-	-	Huracán	-	Inundación de colonias
1807/ Sep	7	Surgencia	-	Inundaciones en la ciudad, alcanzó la calle 10.
1869/ Oct	26	Lluvia torrencial	Centro, Santa Ana, La Alameda, Puente de los Perros, San Román, Santa Lucía, La Ermita, San Francisco y Guadalupe.	Entrada de agua a la ciudad hacia tierra adentro durante la noche, 307 familias afectadas.
1887/ Oct	13-16	Lluvia eléctrica y vientos (ciclónicos) del noreste y este	Calle de La Muralla (hoy calle 8), Plaza Mayor, hasta la calle 10, Santa Ana, San Francisco, Guadalupe, San Román	Desborde y destrucción de la vía a Lerma, pérdida de vidas humanas, tranvías y hogares.
1889 /Sep	18-21	"Temporal con fuertes vientos y lluvias"	-	Evacuación de barrios hacia el centro de la ciudad. Desperfectos en la Plaza Principal, la antigua maestranza, Teatro Toro, Mercado público.
1911	-	-	Alameda, calle 59, calle 14, calle de la zanja, Puente de La Viga en la calle del Toro	Inundaciones de hasta dos metros.
1936 /Jun	13	-	-	25.5 mm de lluvia acumulada en un día



1969/ Sep	12	Lluvia torrencial s/vientos y c/crecientes de marea.	Calle 14 (<i>esquina de la viga</i>), terrenos de la antigua planta eléctrica, Puente de los perros, La Alameda, Estación Tamarindo, La Zanja de San Martín, los acalchés de Santa Lucía. La Ría, Acumulación de agua en el valle "Reparto de Kalá" y alrededores, igual situación en los costados de la carretera Campeche - Mérida.	Inundaciones de 2.5 metros aprox., evacuación de personas, con pérdida de pertenencias. 71.5 mm de lluvia acumulada en un día Asentamientos el terreno en los alrededores de los préstamos del Ferrocarril del Sureste y su sistema ferroviario y el Puente de Piedra.
1981 /Ago	21	Frente	Av. Gobernadores	97.3 mm de lluvia acumulada en un día
1988/ Sep	14	Huracán Gilberto	Daños en los portales de San Martín y la iglesia de San Francisco.	Ingreso de agua del mar a la ciudad en 450 m tierra adentro. Oleaje de tres metros. Inundaciones en Plan Chac. 525 km de caminos dañados. Pérdidas generales estimadas en 60 mil millones de pesos. Daños al Hospital General de Campeche, IMSS e ISSSTE por 3 mil 100 millones de pesos en instalaciones y equipo. Daños en infraestructura educativa y 1500 tomas de agua potable particular.
1994/Jun	16	Lluvia	Av. Jaina, Av. Ruiz Cortines, Casa de Justicia, López Mateos, Zona de Ah Kim Pech, Plan Chac, Presidentes de México, Colonia México, Fidel Velásquez, Pablo García, Dzarbay.	Se generaron inundaciones a causa de las fuertes precipitaciones como consecuencia de una onda tropical, esto también originó la caída de 4 postes de Luz sobre la Av. Palmas.
1994/ Sep	30	Depresión tropical	Av. Álvaro Obregón, Av. Gobernadores a la altura de las oficinas del Seguro Social.	Inundaciones a causa de una depresión tropical.
1995/Jun	23	Lluvia	San Martín, La ría de San Francisco, Mercado Pedro Sainz de Baranda, La Alameda, el Circuito Baluartes, el IMSS, la central de autobuses, Av. López Mateos y Gobernadores.	Resultó afectada la calle 49, al igual que la unidad habitacional Solidaridad. Se registraron inundaciones que penetraron en casas y varias familias resultaron afectadas por la pérdida de muebles y otras propiedades.
1995/Jun	24	Lluvia	Cd. Concordia	Resultó afectada Cd. Concordia a causa de inundaciones, las cuales rebasaron aceras y penetraron en casas.
1995/ Sep	30	Tormenta tropical Opal	-	En la ciudad: 15 mil damnificados en albergues, 10 muertos, inundaciones generalizadas



1995/ Oct	30	Huracán Roxana	-	En la ciudad: 15 mil damnificados en albergues, inundaciones generalizadas. 154 mm en un día
1999/ Jun	15 -16	Lluvia	Calle 45 del barrio de Guadalupe, Privada del Sol, Solidaridad Urbana, Fidel Velásquez, Avenida López Mateos, la periferia del mercado Pedro Sainz de Baranda, Plan Chac, Colonia Cumbres	Resultaron afectadas la calle 45 del barrio de Guadalupe, Privada del Sol, Solidaridad Urbana, Fidel Velásquez, Avenida López Mateos, la periferia del mercado Pedro Sainz de Baranda, Plan-Chac, Colonia Cumbres La precipitación del día 15 fue de 41 mm y la del 16 superó los 60 mm.
2002/ Sep	24	Huracán Isidoro	La Ría, Plan Chac, Presidentes, Fracciorama 2000, Héroe de Nacozari, Unidad Deportiva del IMSS, El Carmelo, Fovissste Belén, Parque infantil de Moch Cohuó, Plazuela del Palacio Legislativo, Minas, Parque San Martín, Santa Lucía y La Esperanza	Cayeron bardas y árboles. Inundó casas. Causó deslaves. El mar se desbordó. Inundaciones generalizadas
2004/ Jun	15	Lluvia	Av. Jaina, Ruiz Cortines, Casa de Justicia, López Mateos, Parte de la zona de Ah Kim Pech, Plan Chac, Presidentes de México, Fidel Velásquez, Pablo García y Dzarabay.	Inundaciones generalizadas con 50 mm acumulados en el día

Con el material documental disponible, se realizó una correlación entre inundaciones documentadas y los registros de precipitación pluvial (CNA, 2004), mostrando que la ciudad de Campeche, presenta condiciones de inundación significativa, a partir de una precipitación acumulada de 41 mm/hora.

En la Tabla 3, se listan los valores de intensidades máximas de precipitación acumulada en una hora para la ciudad de Campeche para cada periodo de retorno señalado (Método Gumbel). Como se puede observar, una intensidad ≥ 41 mm/hora se presenta aproximadamente cada dos años.



Tabla 3. Intensidad máxima de precipitación acumulada para 60 minutos y periodos de retorno para la ciudad de Campeche.

Periodo de retorno en años	Intensidad máxima en mm/hora
1	14
2	42 – 44
3	48
5	53 – 58
10	65 – 75
15	75 – 90
25	60 – 33
33	93
50	96.5
100	107.2

Para validar la correlación entre los datos reales y los datos probables, se aplicó la función doble de Gumbel, a partir de la cual, se logran diferenciar para periodos de un día, valores mayores a 150 mm de lluvia repetibles en 100 años y de más de 80 mm en una hora (Fig.14), muy cercanos al periodo de retorno de 50 años.

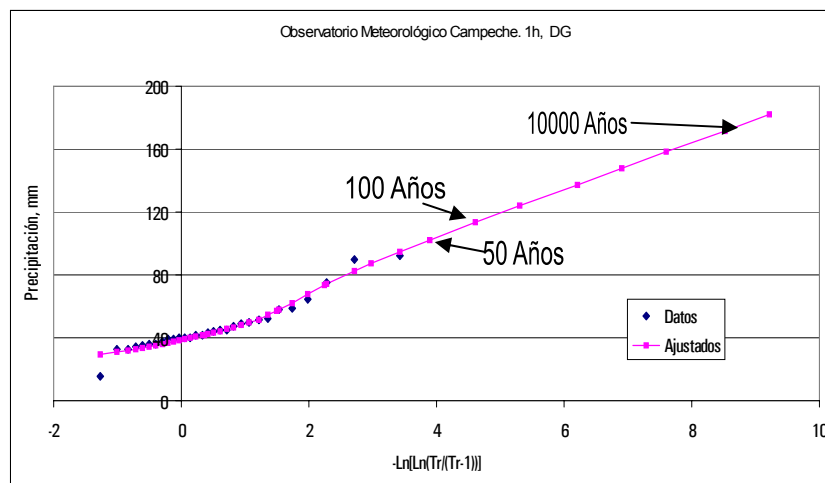


Figura 14.- Estación Observatorio Meteorológico de Campeche, lluvia horaria.

Una vez identificadas las inundaciones que interrumpen el estado normal de funcionamiento de la ciudad de Campeche, se determinó, que por su ocurrencia, se pueden clasificar en ordinarias y extraordinarias. Las ordinarias asociadas con las lluvias tropicales torrenciales que se presentan cada temporada de lluvias y que por su naturaleza son de permanencia temporal entre minutos y horas, con tirantes máximos de 80 cm; y las extraordinarias asociadas ha eventos hidrometeorológicos extraordinarios como tormentas tropicales y huracanes, que ocasionan inundaciones por días y con tirantes máximos mayores de 1.5 m.



Para la elaboración del mapa síntesis de peligro inundaciones, se realizó un álgebra de mapas con los grids (formatos ráster) generados a partir de las coberturas de susceptibilidad del terreno a las inundaciones y los tirantes ponderados de inundaciones ordinarias y extraordinarias.

La cobertura de susceptibilidad a las inundaciones, se ponderó de acuerdo con la predisposición dinámica del terreno, los coeficientes de escurrimiento y los regímenes de infiltración. En la Tabla 4, se muestra una reinterpretación de los tipos de superficies según la cobertura en zonas urbanas y suburbanas para Campeche, la textura y permeabilidad del suelo, el drenaje vertical esperado y los datos de infiltración inicial, según la ecuación de Horton (Birmingham *et al.* 1999).

Tabla 4.- Interpretación de los promedios de infiltración para la cobertura del suelo en la ciudad de Campeche.

Infiltración/ Permeabilidad	Cobertura	Textura	Drenaje vertical	Ecuación de Horton Rango (media) en mm/hr
<i>Rápida/Alta</i>	Barreras arenosas y planicies de cordones litorales. Áreas destinadas a uso urbano con vegetación escasa y suelos arenosos	Permeable Arenosa Areno-limosa. Suelos arenosos no compactados	Ideal	
			No compactado	110-3710 (990)
			Compactado	3-2200 (380)
<i>Moderada/Media</i>	Áreas destinadas a uso urbano con vegetación escasa o sin vegetación y las áreas con arborizados y pastos en distintas proporciones.	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa	Bueno a moderado	(725)
<i>Lenta(Media-Baja)</i>	Yahom–acalché. Zonas de transición entre lomeríos y bajos extendidos o confinados. Áreas s/urbanizar de limos y arcillas con diferentes grados de compactación	Franco-arcilloso Franco-arcillo Arcillosa-arenosa Suelos semihidromórficos	Imperfecto	64 -1500 (460)
<i>Muy lenta/Baja</i>	Acalchés. Suelos hidromórficos compactados y no compactados	Arcillosa saturada	Pobre o muy pobre	0-1200 (86)
<i>Nula</i>	Construcciones de concreto (casas, edificios, aceras) y pavimentos asfaltados multicapa	Impermeable	Nulo	0 teórico

De las cinco clases de cobertura originales para la zona urbana y suburbana de Campeche, se reagruparon con fines de clasificación, a partir de la clasificación digital de la imagen Quickbird, tres clases de susceptibilidad dentro de la planicie baja inundable (Fig. 15):

- Baja (arborizados de zonas urbanas y suburbanas),
- Media (áreas sin urbanizar, sin vegetación o vegetación escasa) y
- Alta (residencial y pavimentos)

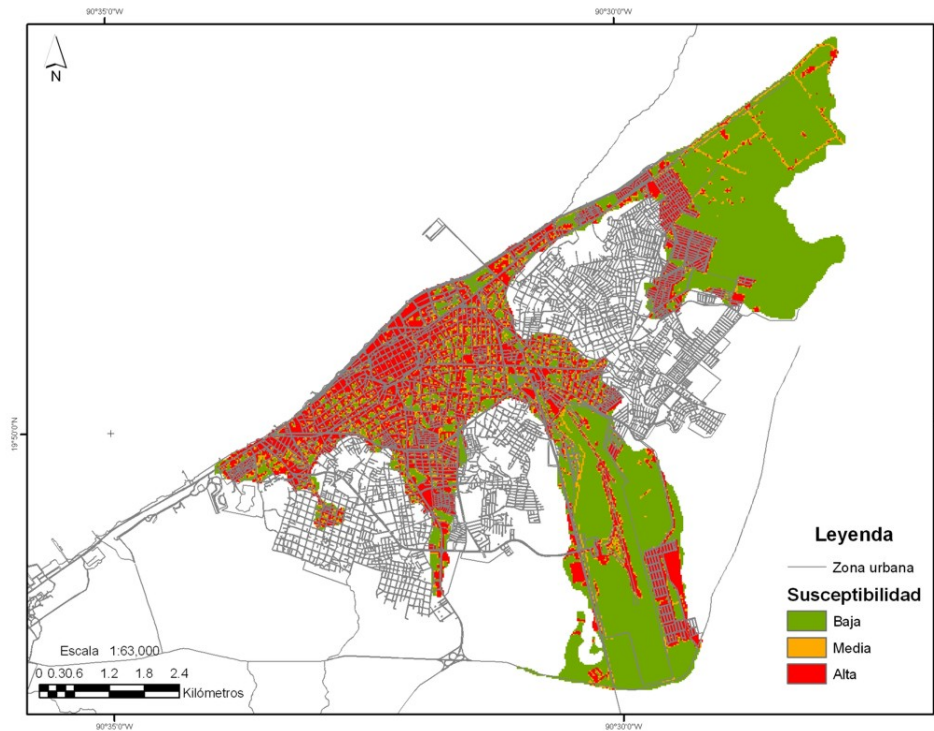


Figura 15.- Mapa de susceptibilidad del terreno ante la ocurrencia de inundaciones para la zona urbana y suburbana de Campeche.

La cobertura de tirantes ponderados de inundaciones ordinarias y extraordinarias, se generaron a partir de la interpolación de 401 datos puntuales (Tirantes de Inundación. Anexo técnico) recolectados en el muestreo de campo, con la extensión *Geostatistical Analyst* en *ArcGis 9.0*. Se utilizó el método IDW (*Inverse Distance Weighted*) con peso de 2 y la opción neighborhood (15 unidades como los “vecinos” a incluir). Posteriormente, se exportaron a formato vectorial para su clasificación en 4 rangos según el tirante de inundación en: bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 5). Posteriormente se aplicó un *dissolve* en *ArcGis 9.0*, para eliminar las fronteras entre los polígonos que comparten rango.

Los rangos están asociados, en orden ascendente, a la interrupción de la comunicación terrestre en calles y avenidas, el desborde de agua hacia el interior de las edificaciones y la interrupción y daño a los servicios básicos de electricidad y agua potable. Se parte del hecho de que el régimen de tirantes de inundación condiciona el nivel de impacto sobre la población, la vivienda y la infraestructura urbana.



Tabla 5.- Rangos utilizados para ponderar los tirantes de inundación en la ciudad de Campeche.

Rangos de clasificación por tirante de inundación		
Tirante de Inundaciones Extraordinarias (cm)	Tirante de Inundaciones Ordinarias (cm)	Rango
0 -24	0 - 7.20	Bajo
24.01 - 45	7.21 -15.05	Medio
45.01 - 69	15.06- 24.22	Alto
69.01 - 180	24.23 - 83	Muy Alto

Como resultado del análisis de obtuvieron para los mapas zonificación del peligro de inundaciones ordinarias y extraordinarias cuatro rangos de peligro:

- Bajo,
- Medio,
- Alto y
- Muy alto.

■ **Inundaciones ordinarias. Identificación y zonificación de peligro por inundaciones ordinarias.**

Las inundaciones ordinarias son aquellas asociadas a la temporada regular de lluvias, y son ocasionadas por la invasión de masas de aire tropical y sistemas de baja presión atmosférica en superficie. Debido al funcionamiento tropical del sistema atmosférico regional, las lluvias son de carácter torrencial y las inundaciones súbitas y de poca persistencia temporal.

Según los puntos de verificación en campo, las inundaciones ordinarias muestran importantes diferencias numéricas (rango) entre los valores máximos y mínimos de los tirantes observados (Fig. 16). Este comportamiento demuestra la variabilidad en la expresión espacio-temporal de los datos y, por lo tanto, el diferente comportamiento hidrometeorológico de las precipitaciones a nivel local. Por la importancia de los tirantes detectados por arriba de los 50 cm, resultan afectadas durante la temporada de lluvias las siguientes colonias: Las Flores, Fracciorama, Belem, Santa Ana, La Ermita, Cuatro Caminos, Solidaridad, Fidel Velásquez y El Carmelo (Fig. 16).

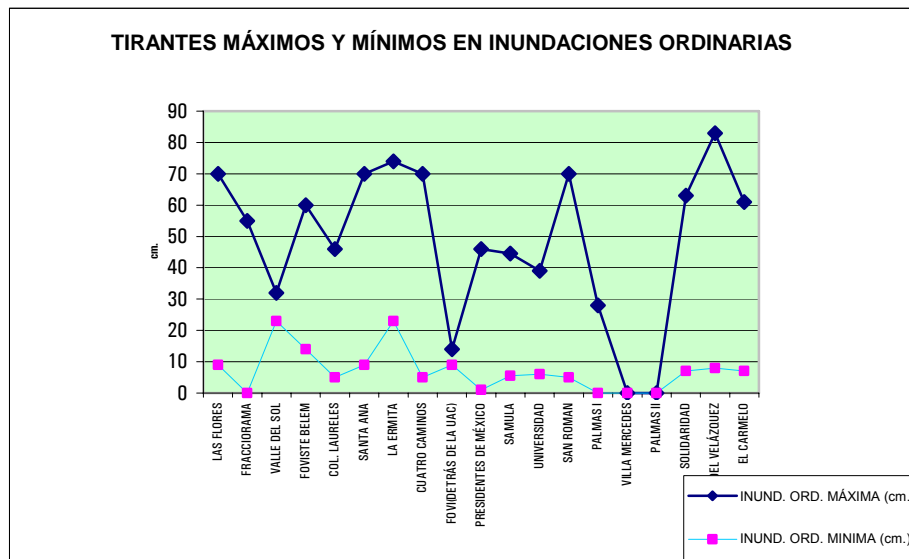


Figura 16.- Gráfico de los tirantes extremos en cm para inundaciones ordinarias por colonias en la ciudad de Campeche.

Igualmente, a partir de los muestreos en campo, se identificaron las zonas con diferente permanencia, en horas, de los tirantes de inundación ordinaria (Fig.17). Este parámetro es fundamental para detectar, la eficiencia del terreno y el drenaje, para eliminar o mantener lo excesos de agua.

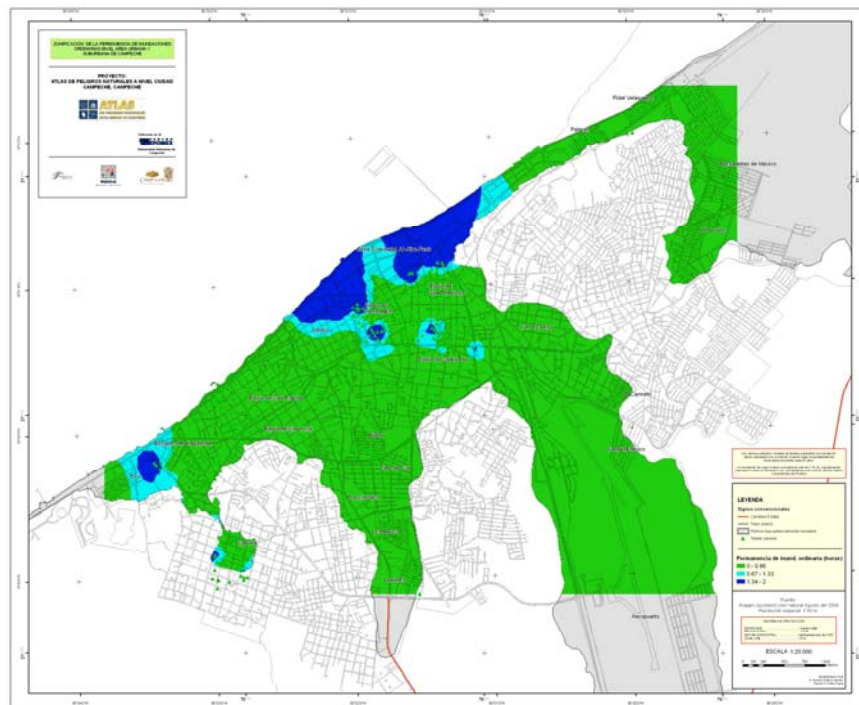


Figura 17.- Permanencia de inundaciones ordinarias en horas para la ciudad de Campeche.



Por otra parte cuando ocurren inundaciones ordinarias, la altura relativa del agua (tirantes), permite caracterizar la intensidad del fenómeno y, por lo tanto, identificar zonas según la intensidad de la amenaza (Fig.18).

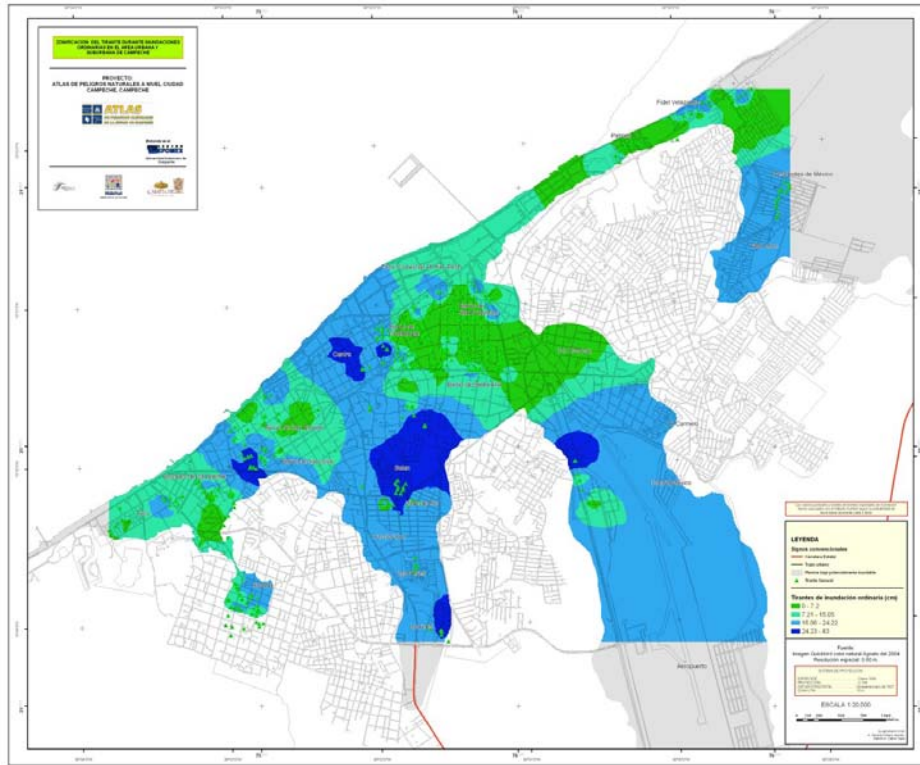


Figura 18.- Tirante de inundaciones ordinarias en cm para la ciudad de Campeche.

Finalmente, como resultado del álgebra de mapas, donde se pondera (importancia relativa), la susceptibilidad del terreno a las inundaciones, con la intensidad del fenómeno, según sus rangos de inundación ordinaria, se obtiene el mapa síntesis de expresión espacio temporal: “Zonificación del peligro de inundaciones ordinarias en el área urbana y suburbana de Campeche” (Fig.19). En este mapa se compensa el peso específico de los tirantes de inundación ordinaria, con la capacidad del terreno para inhibir la escorrentía o facilitar la infiltración según sus coeficientes de escurrimiento. Son escenarios de inundación con periodos de retorno de 2 años y al menos una precipitación acumulada ≥ 41 mm/hora.

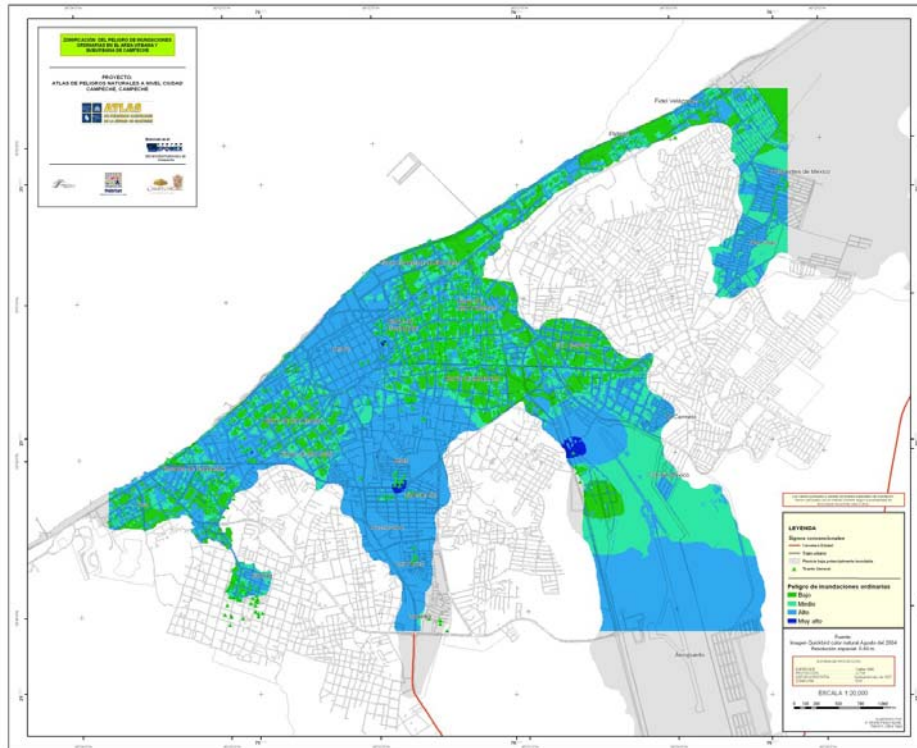


Figura 19.- Zonificación del peligro de inundaciones ordinarias en el área urbana y suburbana de Campeche.

■ Inundaciones extraordinarias. Identificación y zonificación de peligro por inundaciones extraordinarias.

Las inundaciones extraordinarias se deben a fenómenos hidrometeorológicos poco frecuentes para los promedios regionales, pero de magnitud e intensidades extraordinarias. Se deben principalmente a la ocurrencia de tormentas tropicales, huracanes (detalles adelante) y lluvias por frentes fríos.

Los datos diarios máximos de precipitación registrados en la Estación Observatorio Meteorológico de Campeche, se presentaron en 1995 y 2002, y ambas fechas tienen asociadas tormentas tropicales y huracanes, con periodos de retorno de 50 y 100 años, respectivamente. En particular en el año 2002, durante el paso del huracán Isidoro, la precipitación máxima diaria en septiembre, alcanzó 215.3 mm, lo cual corresponde a un periodo de retorno de 84 años, aproximadamente. Cabe aclarar, que en términos de afectación por inundaciones históricamente documentadas, el huracán Isidoro es el evento hidrometeorológico extraordinario, que más condiciones de afectación y daños ha mostrado,



por lo tanto, es el evento guía en términos de antecedentes para la proyección de escenarios.

La oscilación de los tirantes extremos (máximo y mínimo) durante las inundaciones extraordinarias por colonias es mínima. Esto se explica debido a que los aportes pluviales se mantienen constantes durante varios días saturando el suelo y propiciado, por tanto, situaciones generalizadas de inundación con más de 100 cm de tirantes en: Las Flores, Fracciorama, Valle del Sol, Belem, Laureles, Santa Ana, La Ermita, Cuatro Caminos, Presidentes de México, Solidaridad , Fidel Velásquez y El Carmelo.

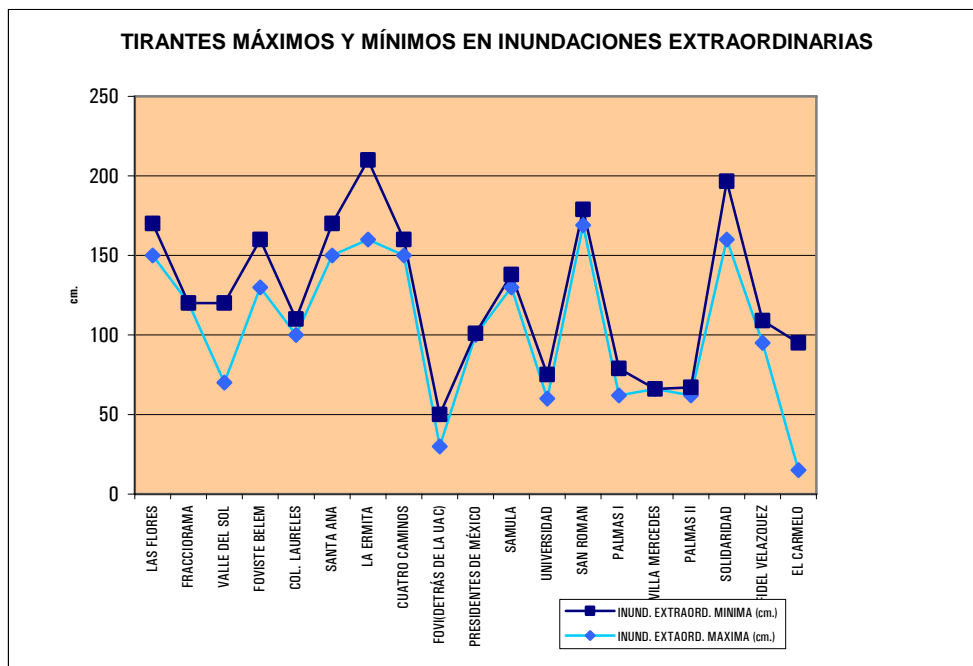


Figura 20.- Gráfico de los tirantes extremos en cm para inundaciones extraordinarias por colonias en la ciudad de Campeche.

La permanencia (Fig.21) y tirantes (Fig.22) de inundaciones extraordinarias durante la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes, ocasionan la interrupción de los servicios básicos de electricidad y agua potable, y daños a la infraestructura urbana de calles y avenidas. Las rutas de abasto local y subregional son obstruidas durante al menos 5 días en promedio, mientras baja nivel del mar y el nivel de inundación en la ciudad.

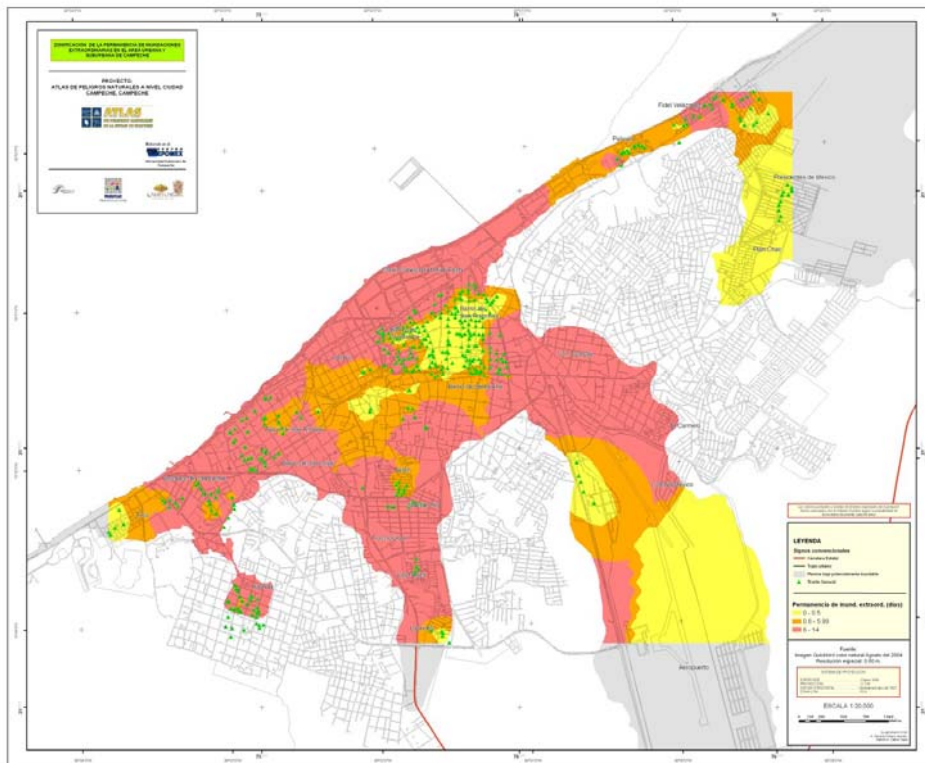


Figura 21.- Permanencia de inundaciones extraordinarias en horas para la ciudad de Campeche.

Como resultado del algebra de mapas, donde se pondera (importancia relativa), la susceptibilidad del terreno a las inundaciones, con la intensidad del fenómeno, según sus rangos de inundación extraordinaria, se obtiene el mapa síntesis de: “Zonificación del peligro de inundaciones extraordinarias en el área urbana y suburbana de Campeche” (Fig.23). En este mapa se compensa el peso específico de los tirantes de inundación extraordinaria, con la capacidad del terreno para inhibir la escorrentía o facilitar la infiltración según sus coeficientes de escurrimiento. Son escenarios de inundación con periodos de retorno de 84 años y al menos una precipitación acumulada de 200 mm en un día.

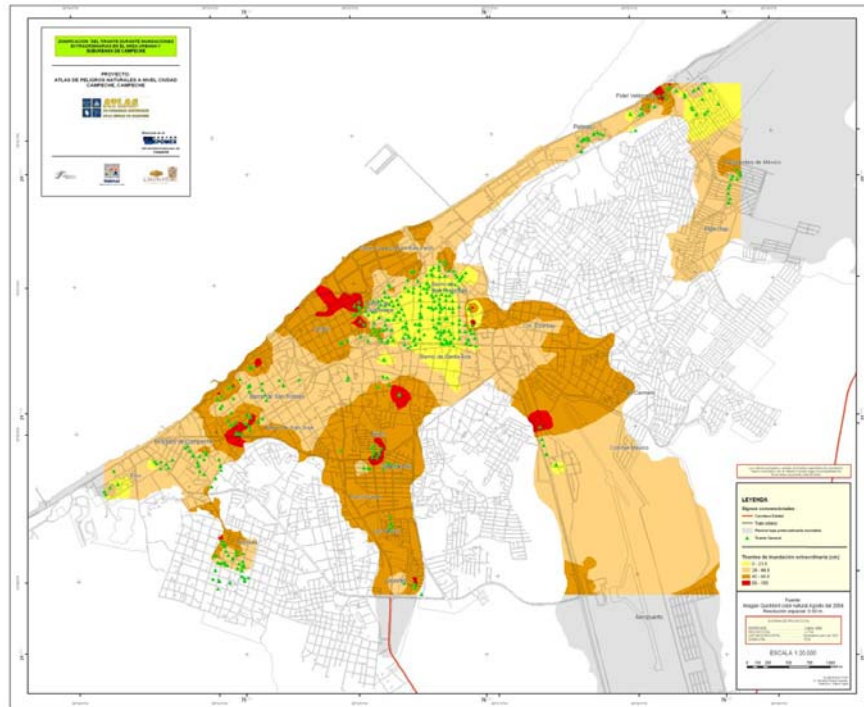


Figura 22.- Tirante de inundaciones extraordinarias en cm para la ciudad de Campeche.

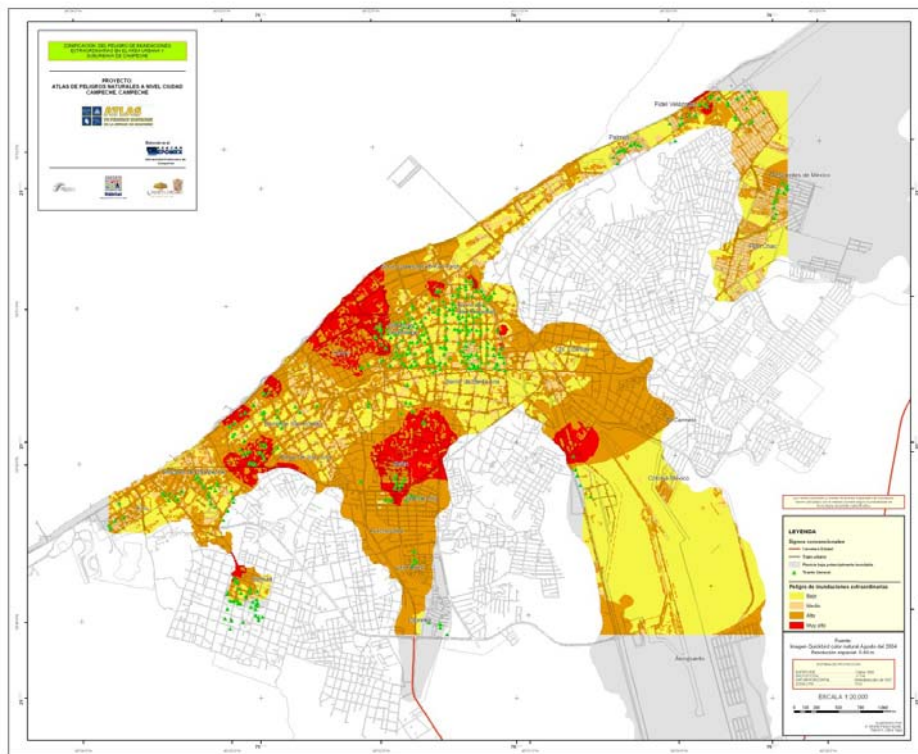


Figura 23.- Zonificación de inundaciones extraordinarias en el área urbana y suburbana de Campeche.



■ Huracanes. Identificación y zonificación de peligro por huracanes.

Un huracán (ciclón tropical) es el término científico que se utiliza para definir una circulación meteorológica cerrada que se propaga sobre aguas tropicales. Este sistema de gran escala de baja presión ocurre en todo el mundo y su nombre varía según la región geográfica en el cual se desarrolla: en el Atlántico y en el nordeste del Pacífico son llamados como huracanes, en el noroeste del Pacífico como tifones y en el Pacífico Sur, como en el océano Indico, son conocidos simplemente como ciclones. El 75 % de los huracanes se desarrollan en el hemisferio norte, donde normalmente los huracanes viajan de este a oeste, caso contrario sucede en el hemisferio sur, donde viajan de Oeste a Este.

▪ Desarrollo del huracán

Todas las depresiones tropicales que crecen y derivan en huracanes, se originan prácticamente bajo las mismas condiciones y conservan las mismas características meteorológicas a lo largo de su vida. Las diferencias físicas que se pueden presentar de un evento a otro radican en las velocidades que cada evento puede alcanzar y el tiempo que éstas se pueden mantener.

En los primeros momentos de la formación de los huracanes, la circulación de la isobara cerrada se denomina depresión tropical. Si la velocidad sustentada del viento excede lo 63 km/h el fenómeno se convierte en tormenta tropical, así mismo, cuando la velocidad del viento excede los 119 km/h el sistema toma el nombre de huracán que se puede considerar la forma más severa de una tormenta tropical. La pérdida de energía del fenómeno ocurre normalmente cuando el huracán se mueve dentro de zonas costeras y se adentra al continente.

▪ Depresión tropical

Los huracanes tienen su origen en latitudes que van desde los 8° hasta los 15° hacia el norte y el sur del ecuador, se originan como resultado de un proceso de liberación de calor y humedad de los mares en las zonas tropicales. Este proceso ayuda a equilibrar la temperatura atmosférica y el balance de humedad entre las zonas tropicales y no tropicales.

Para la generación o nacimiento de un huracán se requiere al menos 27° C de temperatura ambiente. En los meses de verano, la temperatura ambiente sobre el Mar



Caribe y Golfo de México puede alcanzar hasta 29° C creando zonas ideales para la generación de huracanes. La superficie del mar calienta al aire que se eleva hasta que se ve bloqueado por aire más caliente proveniente de vientos del este, el encuentro de éstas dos masas de aire genera una inversión atmosférica lo cual genera tormentas eléctricas que eventualmente rompen esta inversión disminuyendo así la presión atmosférica.

▪ Tormenta tropical y huracán

El crecimiento del sistema ocurre cuando la presión en el centro de la tormenta disminuye por debajo de 1000 milibares (mb), mientras que la presión circundante se mantiene relativamente normal (1013mb). Cuando ocurre ésta baja de presión, los vientos comienzan a definir un patrón de espiral debido a la rotación de la tierra. Las fuerzas de torque generadas por éste gradiente de presión producen cambios en la velocidad del viento relativo a éste gradiente. Mientras que el nivel de energía del fenómeno aumenta, el patrón de circulación del aire tiende a moverse hacia el centro y hacia fuera del huracán, en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio Norte y en sentido horario en el hemisferio Sur. El ciclo se mantiene y así el fenómeno comienza a tener un movimiento de traslación con velocidades de alrededor 32 km/h en su formación hasta mayores de 200 km/h una vez en pleno desarrollo.

La zona de mayor precipitación, con vientos más violentos y máximos niveles de sobre elevación del nivel del mar, es la que se encuentra en el límite de acción del centro del huracán, aproximadamente a una distancia radial de 50 kilómetros desde el centro del huracán, dependiendo del evento y su intensidad. La estructura nubosa de la circunferencia definida por dicha distancia radial puede presentar una longitud de aproximadamente 450 kilómetros. En el ojo del huracán, a diferencia del resto de la tormenta, se caracteriza por ser un área de calma relativa y poca nubosidad.

La clasificación de los huracanes se realiza con base en la intensidad de la tormenta, la cual representa un potencial de daño. La escala más utilizada es la desarrollada por H. Saffir y R.H. Simpson (1971), mostrada en la Tabla 6, en la cual la determinación de cada categoría depende básicamente en la presión barométrica y en los vientos ciclónicos. Los niveles de marea de tormenta fluctúan de gran forma debido a condiciones barométricas y atmosféricas.



Tabla 6.-Clasificación de los huracanes según la escala Saffir-Simpson

Clave	Categoría	Velocidad del viento (km/h)	Marea de tormenta (m)
DT	Depresión Tropical	hasta 64	menor a 0.86
TT	Tormenta Tropical	64 a 118	0.86 a 1.0
H1	Huracán clase 1	118 a 154	1.0 a 1.8
H2	Huracán clase 2	154 a 178	1.8 a 2.7
H3	Huracán clase 3	178 a 210	2.7 a 3.9
H4	Huracán clase 4	210 a 250	3.9 a 5.6
H5	Huracán clase 5	mas de 250	mas de 5.6

▪ Decaimiento o disipación del huracán

Normalmente, un huracán se disipa sobre aguas frías o cuando alcanza la plataforma continental, aproximadamente diez días después de haber iniciado el evento. En el primer caso el huracán tiende a seguir el patrón climatológico dominante y pierde energía, mientras que en el segundo caso, cuando toca tierra, el huracán pierde gran parte de su energía por la fricción generada entre el cuerpo nuboso y el terreno.

▪ La presencia de huracanes en Campeche

Para la estimación sintética de los campos de presión, viento y oleaje en aguas profundas e intermedias, se utilizó una base de datos (1949-2005) que cubre los 614 huracanes que se han generado en el norte del océano Atlántico. Usando los reportes meteorológicos publicados por la NOAA (<http://www.nhc.noaa.gov>), se elaboró una base de datos que contiene reportes cada 6 horas para cada uno de los huracanes que incluye; fecha (hora, día, mes, año), posición geográfica del centro del huracán (latitud, longitud), presión atmosférica superficial en mb, máximo viento sostenido (promedios realizados en un minuto) a diez metros sobre la superficie media del mar, velocidad de desplazamiento en km.h^{-1} , dirección de traslación y radio ciclostrofico.

En virtud que hasta 1979 algunos de los reportes provistos por el sitio web de la NOAA omiten el dato de la presión central y que la información sobre el radio ciclostrofico propiamente nunca es reportado, se utilizó la metodología presentada en el Anexo técnico para estandarizar los datos. De los 614 ciclones que se han generado sólo 202 han afectado la costa del Caribe y Golfo de México nacional (Fig.24).

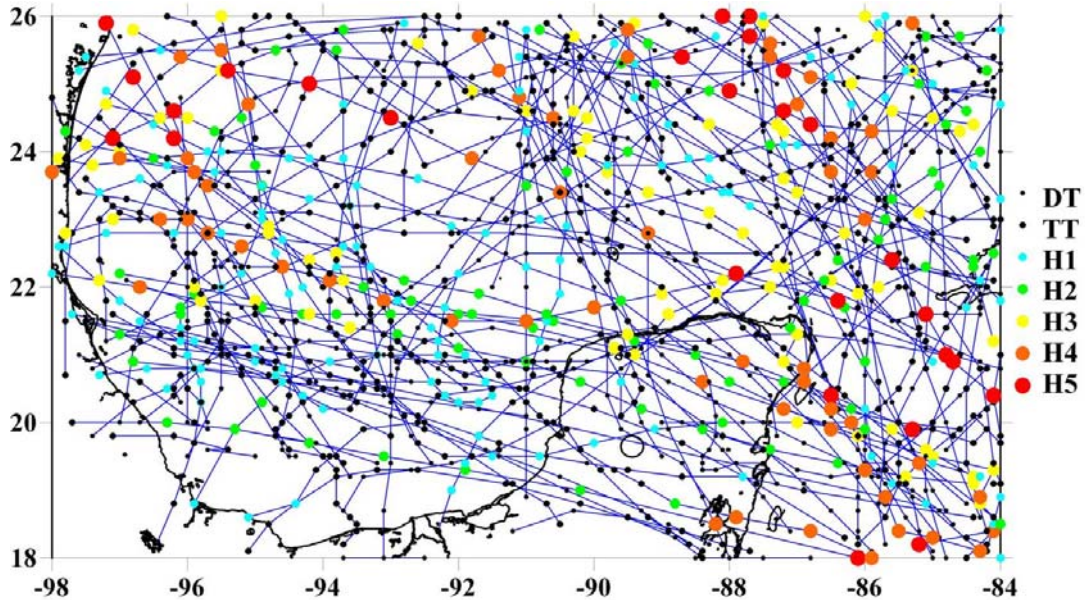


Figura 24.- Huracanes que han afectado la vertiente atlántica mexicana (1949-2005). DT = Depresión Tropical, TT = tormenta Tropical, H1 = Huracán clase 1, H2 = Huracán clase 1, H3 = Huracán clase 3, H4 = Huracán clase 4 y H5 = Huracán clase 5.

Una vez establecida la base de datos y seleccionados los huracanes de interés, se utilizó el modelo HURAC (Anexo técnico), y se calcularon para cada evento los campos de presión, velocidad de viento sostenidos en un intervalo de 8 minutos, altura de ola y persistencia en una celda de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, con centro de gravedad en 19.75° latitud norte y 269.25° longitud. De estos huracanes únicamente 47 afectaron a la Ciudad de Campeche con intensidad de tormenta tropical o superior (Tabla 7).

En la Tabla 7 se presentan los huracanes que han afectado a la ciudad de Campeche ordenados de manera descendente según su persistencia. En esta Tabla **V** corresponde a la velocidad de viento máxima sostenida por 8 minutos km.h^{-1} , **H** a la altura de ola significativa máxima en m, **T** al periodo de ola asociado, **P** a la presión mínima en mb, **TD**, **TS**, **H1**, **H2**, y **H3** a la persistencia en horas que ha afectó como depresión tropical, tormenta tropical, huracán clase 1, huracán clase 2 y huracán clase 3, respectivamente, o superior. Como se puede observar de la Tabla, solo un ciclón tropical, Janet en 1955, ha afectado a la Ciudad de Campeche con vientos asociados a huracán clase 3, tres llegaron a generar vientos de huracán clase 1 (Isidoro en 2002, Hilda en 1955 y Roxana en 1995), 24 llegaron a afectar como tormenta tropicales y 19 como depresiones tropicales.



La persistencia de Janet, 1955, fue de 22.8 horas como depresión tropical o superior, 22.8 horas como tormenta tropical o superior, 10.2 horas como huracán clase 1 o superior, 5.4 horas como huracán clase 2 o superior y 1.8 horas como huracán clase 3. Las persistencias medias y máximas registradas han sido: depresión tropical o superior (33.7 y 158.4 horas), como tormenta tropical o superior (105 y 28.1 horas) y como huracán clase 1 o superior (20.4 y 10.35 horas).

Tabla.- 7.-Huracanes que han afectado la ciudad de Campeche.

#	Año	Mes	V	H	T	P	TD	TS	H1	H2	H3	NOMBRE
1	1955	9	162.0	13.0	14.3	961.0	22.8	22.8	10.2	5.4	1.8	JANET
2	2002	9	130.4	7.4	10.5	992.2	64.8	56.4	20.4	0.0	0	ISIDORE
3	1955	9	110.0	6.7	10.0	991.7	41.4	41.4	9.6	0.0	0	HILDA
4	1995	10	106.2	8.8	11.5	987.0	158.4	105.0	1.2	0.0	0	ROXANNE
5	1974	9	93.9	7.0	10.2	990.0	98.4	98.4	0.0	0.0	0	CARMEN
6	1995	10	88.8	5.1	8.7	1001.2	123.6	63.6	0.0	0.0	0	OPAL
7	1973	8	101.3	7.0	10.2	990.0	59.4	37.8	0.0	0.0	0	BRENDA
8	2000	10	80.0	6.9	10.2	999.0	75.6	35.4	0.0	0.0	0	KEITH
9	1966	10	88.8	5.0	8.6	1002.2	37.2	33.6	0.0	0.0	0	INEZ
10	1967	9	83.7	3.7	7.4	1002.9	34.8	29.4	0.0	0.0	0	BEULAH
11	1951	8	98.4	4.8	8.5	999.0	33.0	29.4	0.0	0.0	0	CHARLIE
12	1949	10	82.0	6.9	10.2	997.0	52.2	28.2	0.0	0.0	0	NOT NAMED
13	1988	9	98.5	5.2	8.8	999.5	30.0	26.4	0.0	0.0	0	GILBERT
14	1996	8	69.7	5.8	9.3	1002.0	43.2	22.8	0.0	0.0	0	DOLLY
15	2005	10	69.9	6.0	9.4	1003.0	37.8	22.2	0.0	0.0	0	STAN
16	1950	10	66.2	3.9	7.6	1006.3	36.6	21.6	0.0	0.0	0	ITEM
17	1980	9	91.4	8.1	11.0	995.0	36.0	21.6	0.0	0.0	0	HERMINE
18	2005	7	84.2	4.2	7.9	1005.1	19.8	19.2	0.0	0.0	0	EMILY
19	1993	9	76.7	6.8	10.1	1001.0	34.8	18.6	0.0	0.0	0	GERT
20	1971	9	76.2	5.8	9.3	1000.0	40.8	18.0	0.0	0.0	0	EDITH
21	1998	11	83.8	7.1	10.3	997.0	39.6	18.0	0.0	0.0	0	MITCH
22	1990	8	65.9	4.5	8.2	1000.0	29.4	12.6	0.0	0.0	0	DIANA
23	1961	11	70.9	8.1	11.0	1007.6	15.6	9.0	0.0	0.0	0	HATTIE
24	1978	9	64.4	5.0	8.7	1008.7	15.0	7.8	0.0	0.0	0	GRETA
25	1956	9	59.3	3.9	7.6	1003.0	19.8	6.0	0.0	0.0	0	DORA
26	1974	9	58.6	3.4	7.1	1010.3	18.6	5.4	0.0	0.0	0	FIFI
27	1988	9	55.7	4.1	7.8	1005.0	20.4	3.0	0.0	0.0	0	DEBBY
28	2001	8	55.7	2.9	6.6	1010.4	33.0	0.6	0.0	0.0	0	CHANTAL
29	2001	10	63.5	0.0	0.0	1009.1	0.6	0.6	0.0	0.0	0	IRIS
30	2003	10	41.5	1.5	4.8	1010.9	55.2	0.0	0.0	0.0	0	LARRY
31	1961	11	46.9	2.0	5.5	1010.4	32.4	0.0	0.0	0.0	0	INGA
32	1989	10	41.9	1.5	4.7	1011.5	31.2	0.0	0.0	0.0	0	JERRY
33	1967	10	38.1	1.5	4.7	1011.0	30.6	0.0	0.0	0.0	0	FERN
34	1988	9	46.4	1.8	5.2	1010.5	28.2	0.0	0.0	0.0	0	FLORENCE
35	1970	10	41.9	1.8	5.2	1010.8	16.8	0.0	0.0	0.0	0	GRETA



36	2003	6	38.0	1.3	4.4	1011.7	16.8	0.0	0.0	0.0	0	BILL
37	1957	6	47.7	2.3	5.9	1010.2	15.6	0.0	0.0	0.0	0	AUDREY
38	1953	9	46.8	2.0	5.5	1010.7	13.2	0.0	0.0	0.0	0	NOT NAMED
39	1993	6	50.7	2.3	5.8	1010.4	11.4	0.0	0.0	0.0	0	ARLENE
40	1969	10	43.0	1.3	4.3	1010.4	9.6	0.0	0.0	0.0	0	LAURIE
41	1971	11	39.1	2.1	5.5	1011.9	9.6	0.0	0.0	0.0	0	LAURA
42	1980	8	52.4	3.7	7.4	1007.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0	ALLEN
43	1954	9	40.9	2.2	5.7	1011.5	8.4	0.0	0.0	0.0	0	GILDA
44	1979	9	42.5	1.7	5.0	1010.6	7.8	0.0	0.0	0.0	0	HENRI
45	1961	7	50.1	3.0	6.7	1010.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0	ANNA
46	1961	9	41.0	2.2	5.8	1009.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0	CARLA
47	1951	9	44.8	1.7	5.0	1012.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0	GEORGE

Para cada huracán, se aplicaron modelos matemáticos para determinar los valores de los campos de presión, viento, altura de ola y periodo a lo largo de la trayectoria del fenómeno a un intervalo de 36 minutos. El modelo matemático de inundación por marea de tormenta se alimenta de los resultados de los modelos de presión y de viento, pero por la precisión requerida en estos casos, el intervalo de cálculo se redujo a 15 minutos.

La magnitud e intensidad de los huracanes se pueden caracterizar por el conjunto de evidencias o modificaciones registradas históricamente en cada unidad del terreno. A su vez cada unidad muestra diferentes grados de exposición al fenómeno, según su ubicación relativa ante la trayectoria preferente, intensidad y recurrencia del fenómeno. De manera que en perfil transversal del océano hacia el interior del continente, y a partir del momento en que el huracán toca tierra, se pueden distinguir dos tipos de impacto: el proximal frontal y proximal asociado.

En el impacto proximal frontal, las unidades del terreno resienten toda la energía del fenómeno y todos los procesos físicos asociados al huracán, como vientos ciclogénicos, oleaje de tormenta, marea de tormenta y reflujos de tormenta, dejando evidencias o daños que permiten diferenciar los mayores efectos destructivos y grados de amenaza.

Por otra parte el impacto proximal asociado se refiere al impacto directo atenuado, al momento en que el huracán toca tierra, o bien al área de cobertura del fenómeno y sus efectos destructivos o modificadores. A diferencia del impacto proximal frontal, se presentan diferentes modalidades extendidas de daños por vientos e inundaciones y no se muestran efectos físicos derivados del oleaje o la marea de tormenta.

El impacto proximal frontal se presenta en las geoformas expuestas hacia el océano, como bocas y marismas en dos niveles de impacto denominados A y B. En A se presentan todos los efectos destructivos y en B, solo reflujos de tormenta, inundaciones, y



vientos. Por otra parte el impacto proximal ocurre en geoformas de transición mar-continente y tiene que ver con los niveles C y D, donde sólo se presentan inundaciones y viento para el nivel C y vientos para el nivel D. Igualmente la ubicación relativa de la amenaza es diferenciable en función de la protección por fijación biogénica y la altura relativa del terreno. Bajo condiciones de peligrosidad extrema, la diferencia de centímetros puede marcar la diferencia en la extensión de las inundaciones y el avance del mar hacia el continente. Los impactos son diferenciables a escalas semidetalladas y detalladas, por lo que siempre es conveniente llegar a ese nivel de levantamiento para identificar los grados de amenaza potencial.

Para caracterizar el comportamiento de los 47 huracanes que desde 1949 han afectado el área de estudio, existen dos enfoques, el primero de ellos es un modelo analítico, el cual, permite obtener una solución continua del fenómeno, sin embargo, fenómenos tales como el oleaje y la marea de tormenta, requieren de soluciones analíticas complejas, que requieren de altos costos computacionales, lo que para el caso que nos ocupa sería ineficiente, el segundo corresponde a la implementación de un modelo numérico realizado por el grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el cual permite obtener resultados con una alta precisión en regiones de interés. Para lograr una buena representación del fenómeno es necesario contar con información física confiable, tal como, la rugosidad del fondo marino, información atmosférica (presión atmosférica y velocidad e intensidad del viento) y desde luego la batimetría debe ser de alta definición. Para cada uno de los huracanes analizados, es necesario definir la trayectoria, posición, intensidad de viento, magnitud de la presión atmosférica, velocidad y dirección de desplazamiento, cuando estos se encuentran en la zona de estudio.

Después de analizar la base de datos, según los requerimientos del modelo numérico a utilizar, se identificó al huracán Isidoro, ocurrido en el 2002, como el más representativo en términos de afectación compleja, según el comportamiento extremal de todos sus efectos destructivos o modificadores del paisaje. El huracán Isidoro fue clase 3 en la escala Saffir-Simpson, en el instante que cruza la costa del estado de Yucatán, con rachas de viento sostenido de 200 km/hr, sin embargo, al cruzar la línea de costa, éste disminuye su intensidad drásticamente y permanece oscilando en tierra, lo que produjo grandes daños económicos y sociales.



En la Tabla 8 se presentan los datos utilizados para el modelaje y en la Figura 25 se muestra la trayectoria del huracán Isidoro y las horas de modelación 65, 71 y 100, de las que se presentan los resultados marea de tormenta y corrientes.

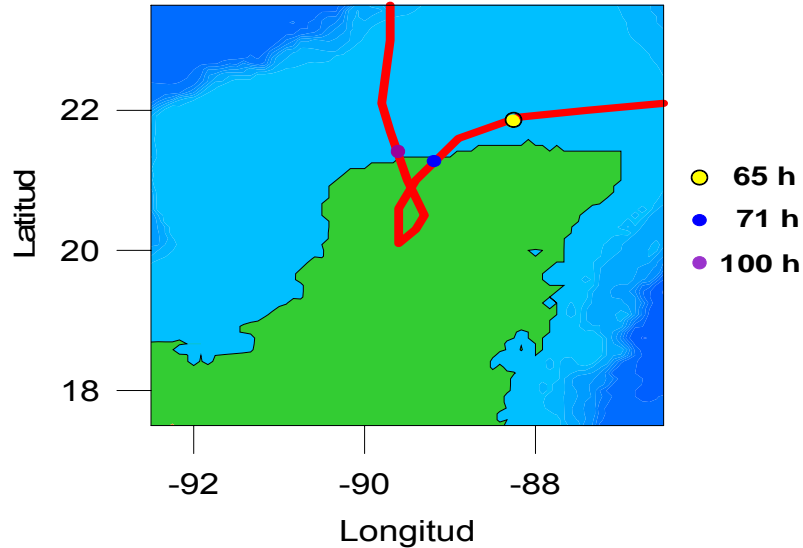


Figura 25.- Trayectoria huracán Isidoro y horas de presentación de resultados.

Tabla 8.- Trayectoria y datos meteorológicos Huracán Isidoro (2002)

Año	Mes	Día	Hora	Latitud (°)	Longitud (°)	Vel. viento (km/h)	Presión (mb)	Vel. Desp. (km/h)	Angulo desp. (°)	Escala Saffir-Simpson
2002	9	18	18	18.7	-78.6	83.39	1001	18.56	353.78	2
2002	9	19	0	19.3	-79.3	92.65	998	16.63	311.73	2
2002	9	19	6	19.7	-80.4	92.65	990	20.65	290.93	2
2002	9	19	12	19.9	-80.9	111.18	990	9.48	292.89	2
2002	9	19	18	20.4	-81.7	120.45	983	16.7	303.53	3
2002	9	20	0	20.7	-82.3	138.98	979	11.77	298.04	3
2002	9	20	6	21.1	-83	166.77	967	14.14	301.46	4
2002	9	20	12	21.5	-83.5	157.51	966	11.29	310.83	4
2002	9	20	18	21.8	-84	138.98	965	10.23	302.76	3
2002	9	21	0	22.1	-84.3	138.98	964	7.65	316.43	3
2002	9	21	6	22.3	-85.1	157.51	964	14.29	284.97	4
2002	9	21	12	22	-85.8	185.3	955	13.19	245.19	5
2002	9	21	18	21.9	-86.1	203.83	946	5.47	250.29	5
2002	9	22	0	22.1	-86.5	203.83	947	7.82	298.14	5
2002	9	22	6	22	-87.4	203.83	936	15.59	263.2	5
2002	9	22	12	21.9	-88.2	203.83	934	13.9	262.37	5
2002	9	22	18	21.6	-88.9	203.83	935	13.33	245.46	5
2002	9	23	0	21	-89.4	185.3	950	14.14	218.47	5
2002	9	23	6	20.6	-89.6	129.71	952	8.21	205.91	3
2002	9	23	12	20.1	-89.6	111.18	960	9.23	180.9	2
2002	9	23	18	20.3	-89.4	92.65	968	5.12	43.8	2
2002	9	24	0	20.5	-89.3	64.86	980	4.1	25.91	2



2002	9	24	6	21	-89.5	83.39	985	9.81	340.13	2
2002	9	24	12	21.7	-89.7	92.65	987	13.32	345.9	2

La marea de tormenta se define como una sobreelevación temporal del nivel del mar. Esta se debe principalmente a la conjunción de varios factores como: la fuerza de arrastre que el viento genera en el cuerpo de agua al aproximarse a la costa; el equilibrio hidrostático que el agua experimenta para equilibrar la depresión atmosférica; la superposición del oleaje, y la disminución del fondo marino. Se estima que por cada 100mb que disminuye la presión atmosférica en el huracán, el nivel del mar aumenta aproximadamente 1 m en la zona cercana al centro del huracán solamente por la disminución de presión.

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

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

La Figura 26, muestra una marea de tormenta de 2.4 metros en la ciudad de Campeche, para este instante de modelación, el huracán está a 100km de la Península de Yucatán

La Figura 27, muestra una marea de tormenta de 3.95 metros, la máxima sobreelevación presentada durante la modelación y corresponde al instante en que el huracán Isidoro está entrando a la Península de Yucatán, con una intensidad 3 en la escala Saffir-Simpson

En la Figura 28, se observa una marea de tormenta de 2.0 metros en la Ciudad de Campeche, en este instante el huracán Isidoro se ha convertido en tormenta tropical.

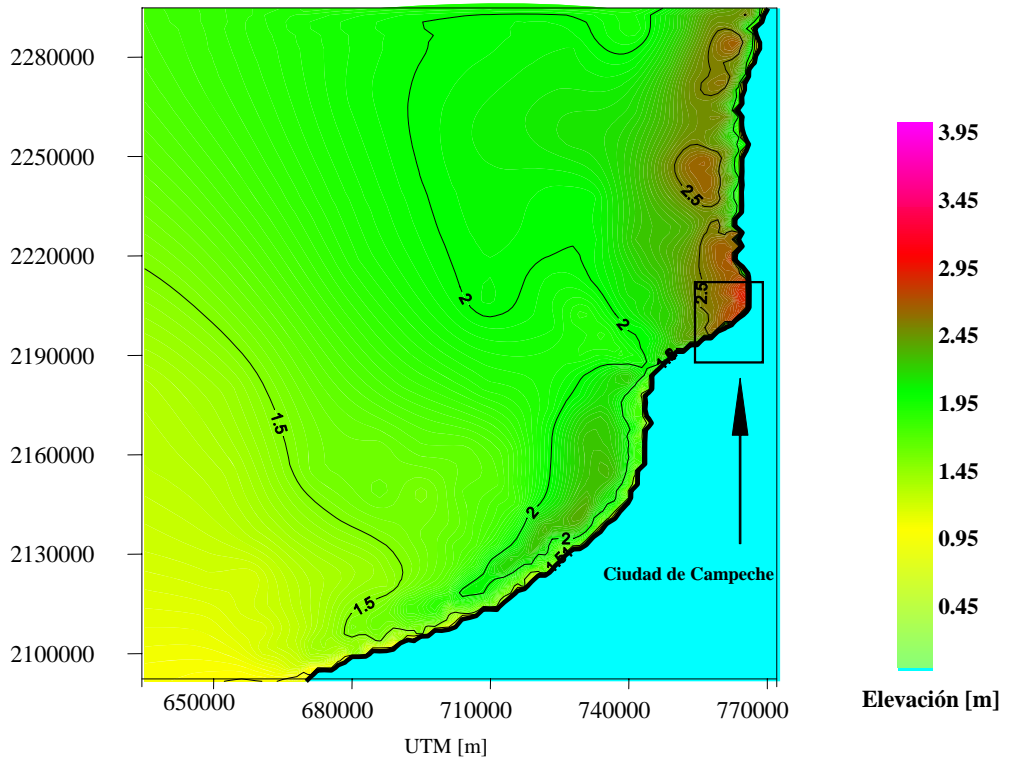


Figura 26.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 65 h en Campeche.

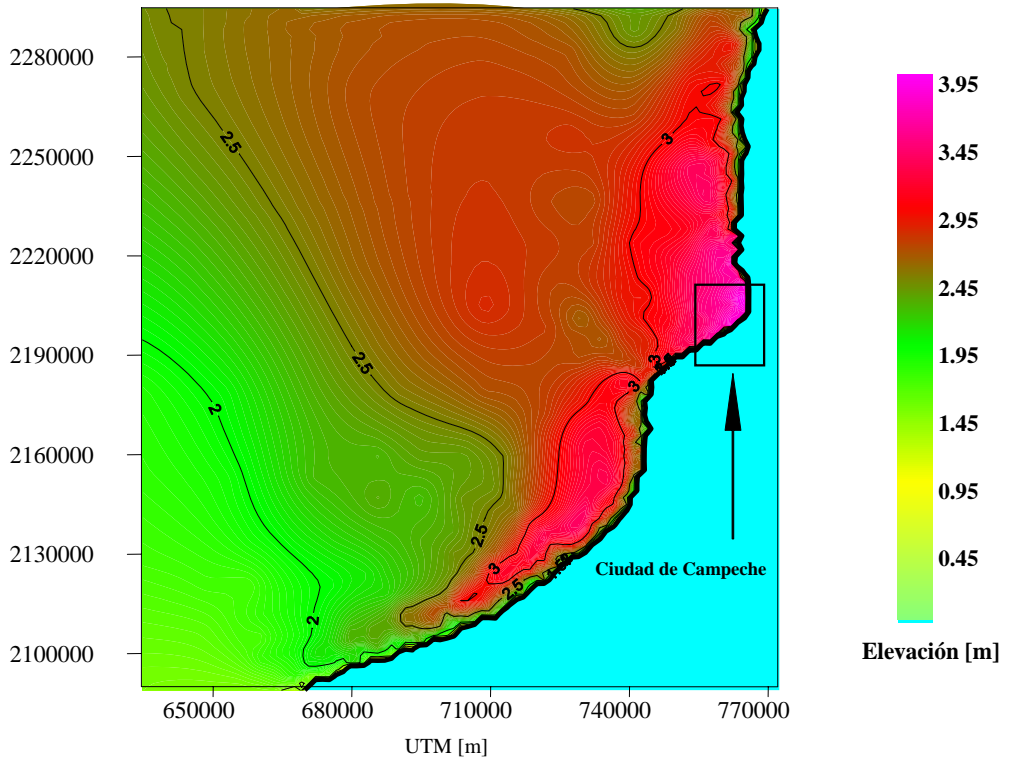


Figura 27.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 71 h en Campeche.

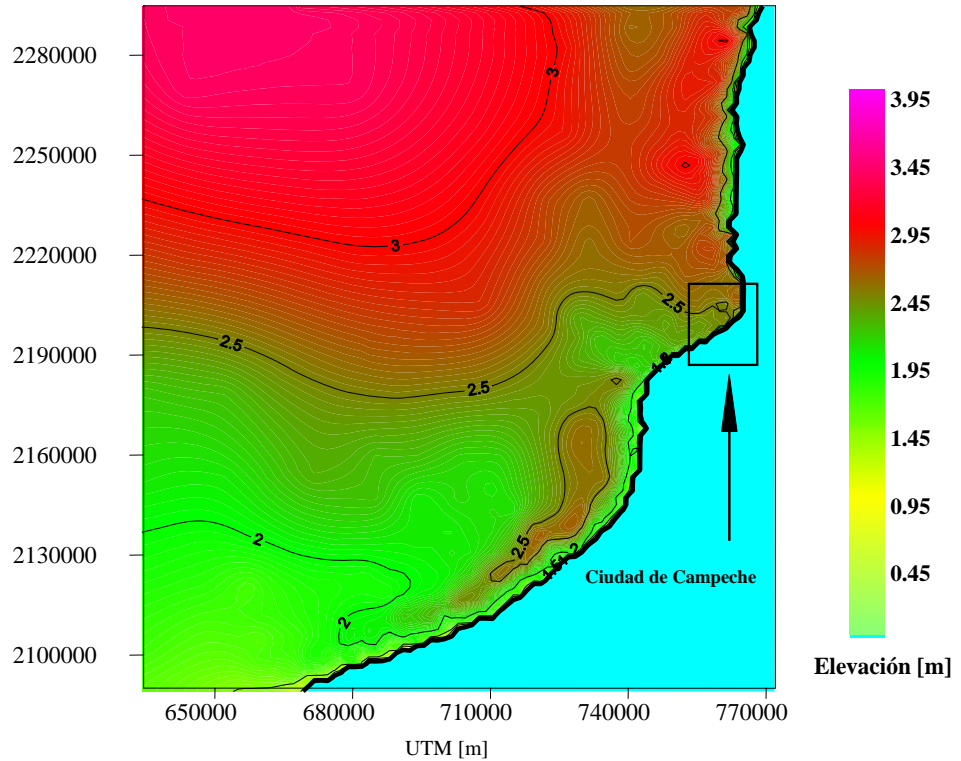


Figura 28.- Marea de tormenta para el huracán Isidoro, 100 h en Campeche.

Las Figuras 29 y 30 muestran el patrón de corrientes para la hora 71 de la simulación numérica, para toda la costa de Campeche y para la Ciudad de Campeche respectivamente. La mayor velocidad de las corrientes inducidas por el huracán en la costa de la ciudad fue de 2 m/s. La dinámica del flujo en detalle para la costa de la Ciudad de Campeche (Fig.30), muestra que los vectores de velocidad tienen distintas direcciones, esto es consecuencia del comportamiento caótico de este huracán, lo que no permitió que se estableciera una condición de flujo estable.

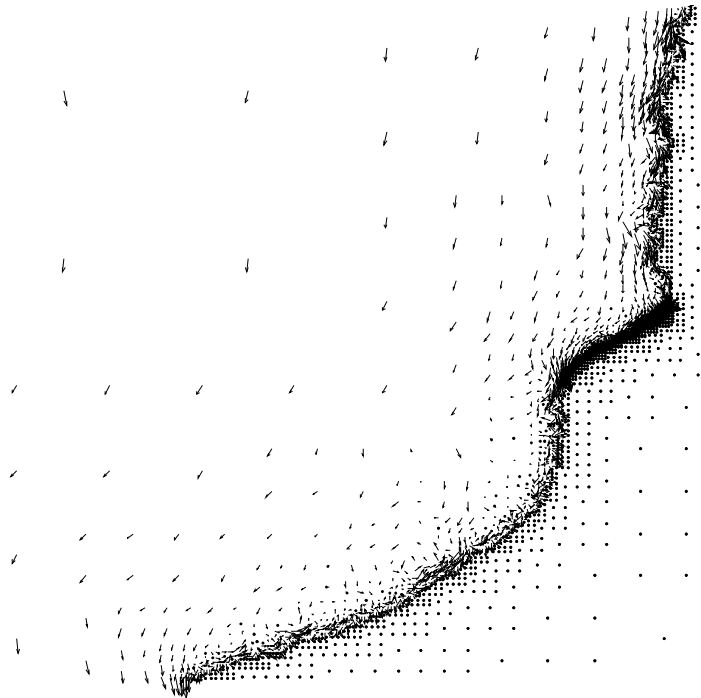


Figura 29.-Patrón de corrientes para toda la costa de Campeche, huracán Isidoro, 71 h

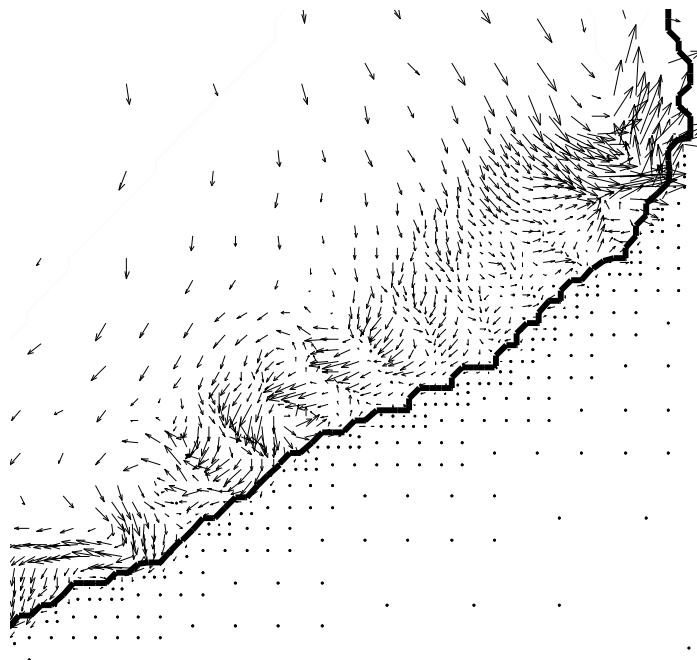


Figura 30.- Patrón de corrientes para la Ciudad de Campeche, huracán Isidoro, 71 h



Las máximas intensidades de viento ciclogénicos extremos son calculadas mediante modelos numéricos que utilizan la información de la base de datos histórica de huracanes entre 1949 y 2004. En la Figura 31, se aprecia, que debido a la poca ocurrencia de huracanes de gran intensidad, en la zona de estudio, no se producen velocidades de viento de más de 100 km/hr, para un periodo de retorno de 10 años, no así, para periodos de 25, 50 y 100 años, en los cuales se presentarían en la zona aledaña a la ciudad de Campeche, intensidades de viento máximas de 120, 150 y 175 km/hr respectivamente. (Figs. 32, 33 y 34).

Cabe aclarar que los resultados presentados son probabilísticos, que están basados en el registro histórico de huracanes, sin embargo con base en ellos, es posible generar herramientas que permitan tomar decisiones, ya sean de prevención o de alertamiento temprano en presencia de huracanes.

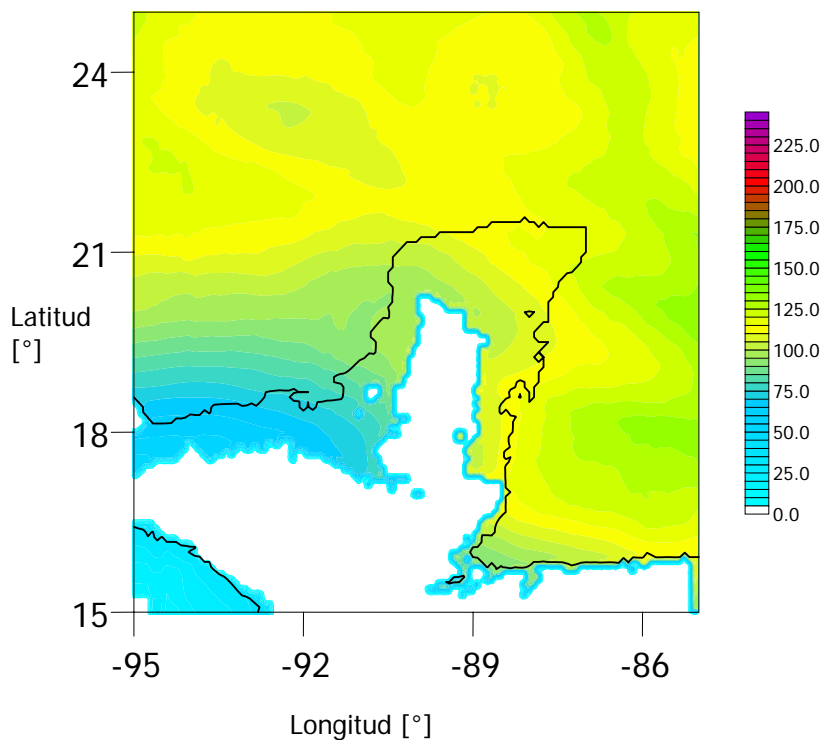


Figura 31.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno $T = 10$ años.

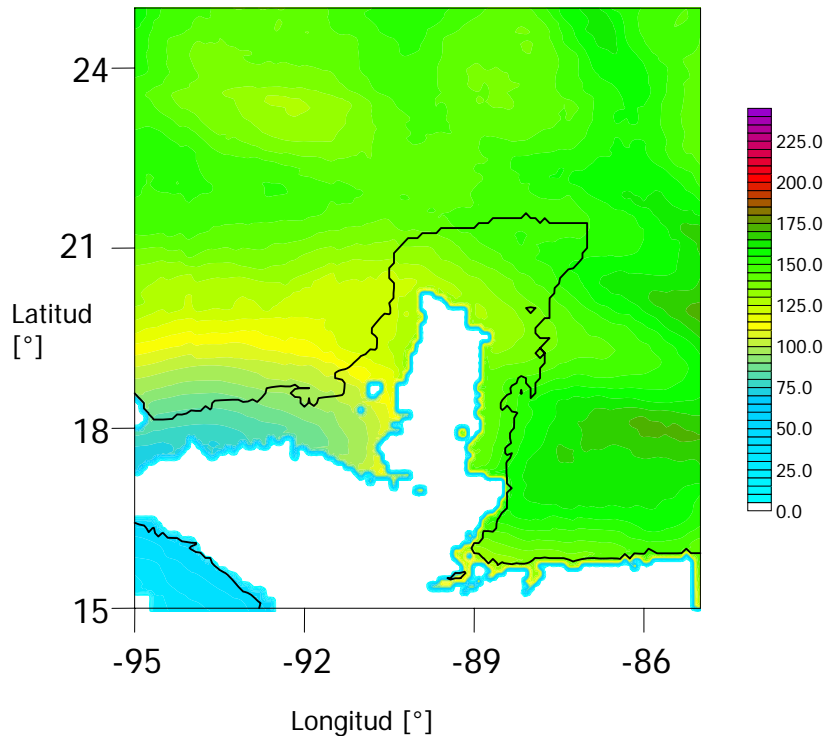


Figura 32.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno $T = 25$ años.

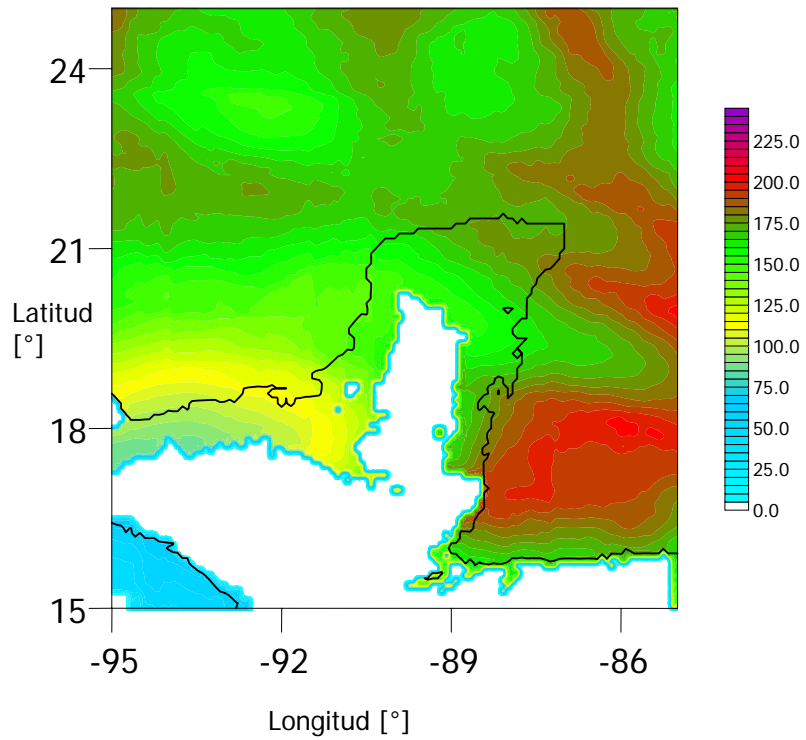


Figura 33.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno $T = 50$ años.

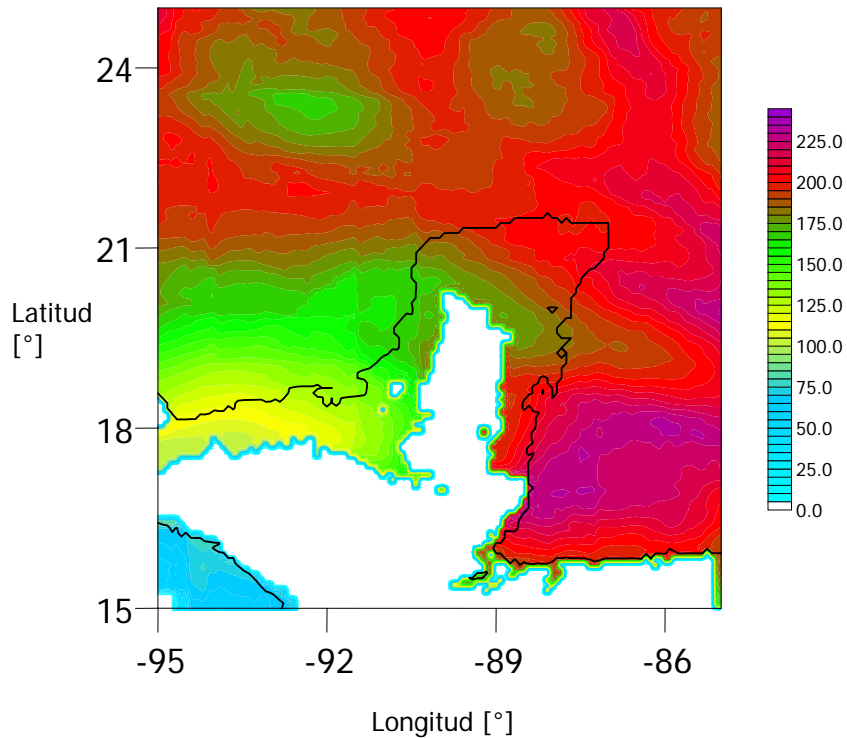


Figura 34.- Intensidad regional del viento para un periodo de retorno $T = 100$ años.

Por otra parte las alturas máximas de ola calculadas mediante modelos numéricos basados en el patrón de vientos, permite apreciar que debido a las características batimétricas y a la poca ocurrencia de huracanes de gran intensidad, no se producen olas de más de 10 metros en la zona aledaña a la Ciudad de Campeche (Fig.35).

En las Figuras 36 a 39 se observa el oleaje calculado con la distribución de probabilidad de Gumbel, para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, en las cuales se observa que para un periodo de retorno de 100 años, se puede llegar a presentar una altura de ola máxima de 15 m, lo cual concuerda con los campos de viento arriba descritos.

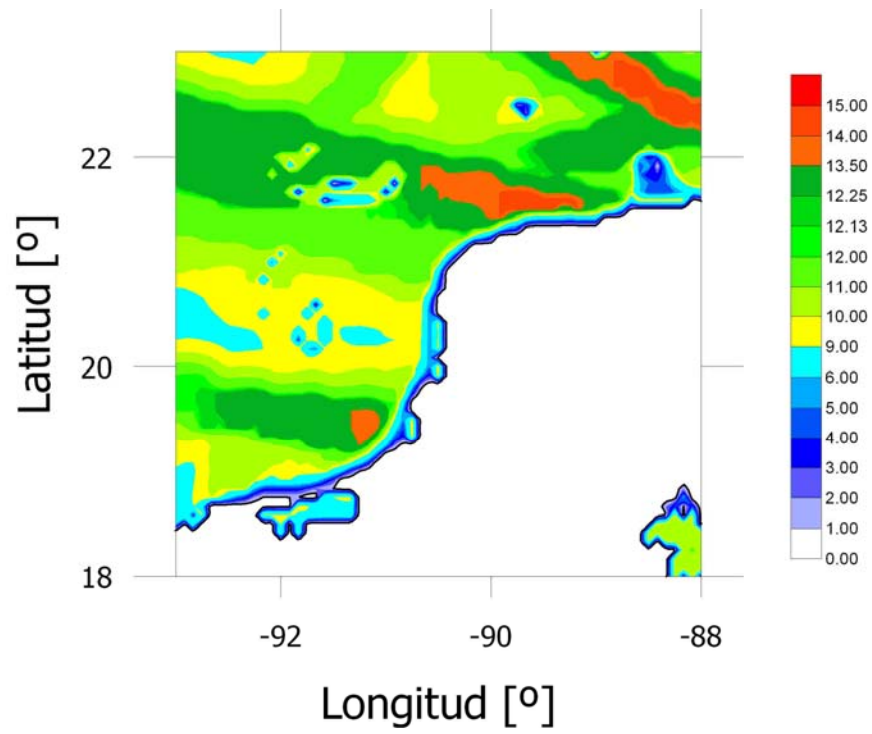


Figura 35.- Altura regional de ola máxima calculada para la zona de análisis.

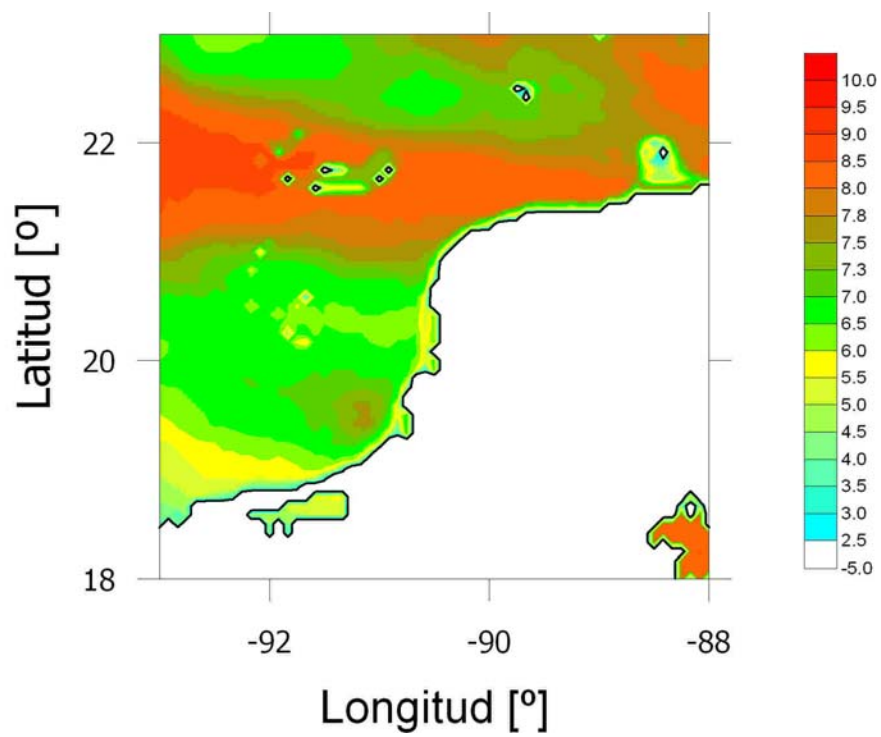


Figura 36.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 10 años.

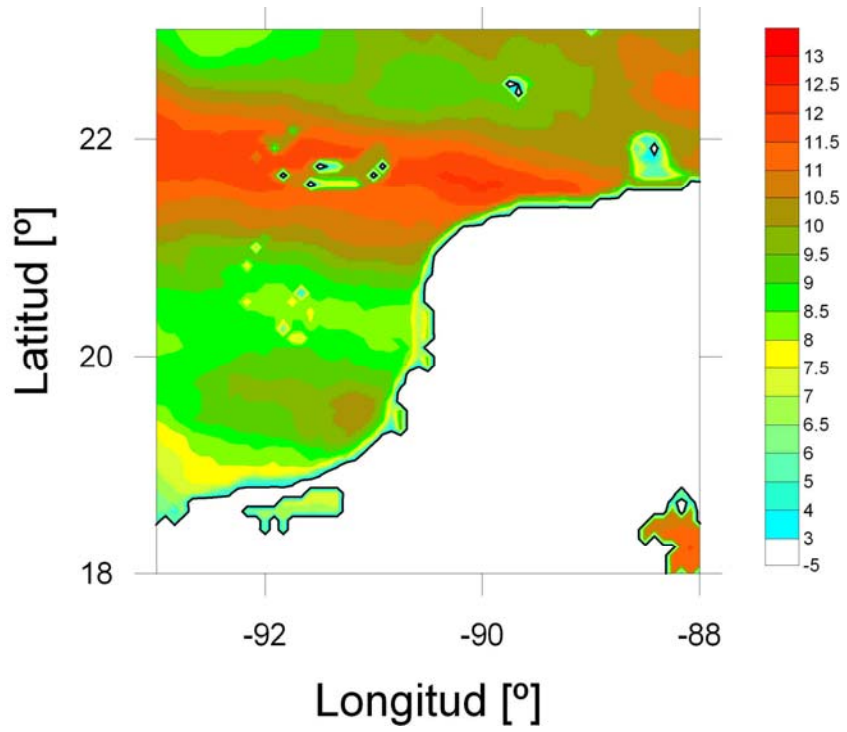


Figura 37.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 25 años.

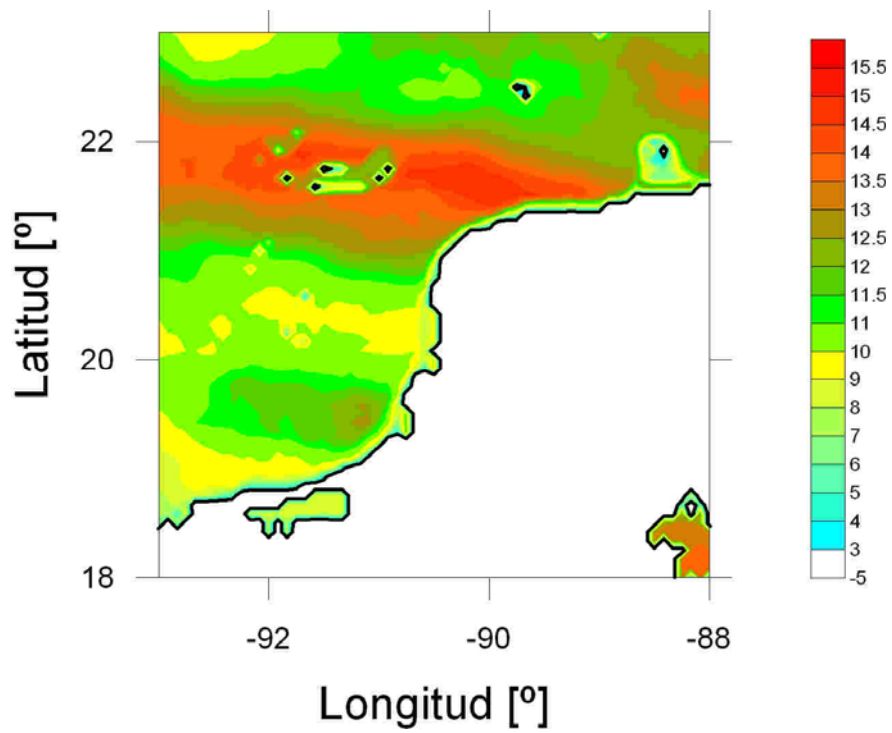


Figura 38.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 50 años.

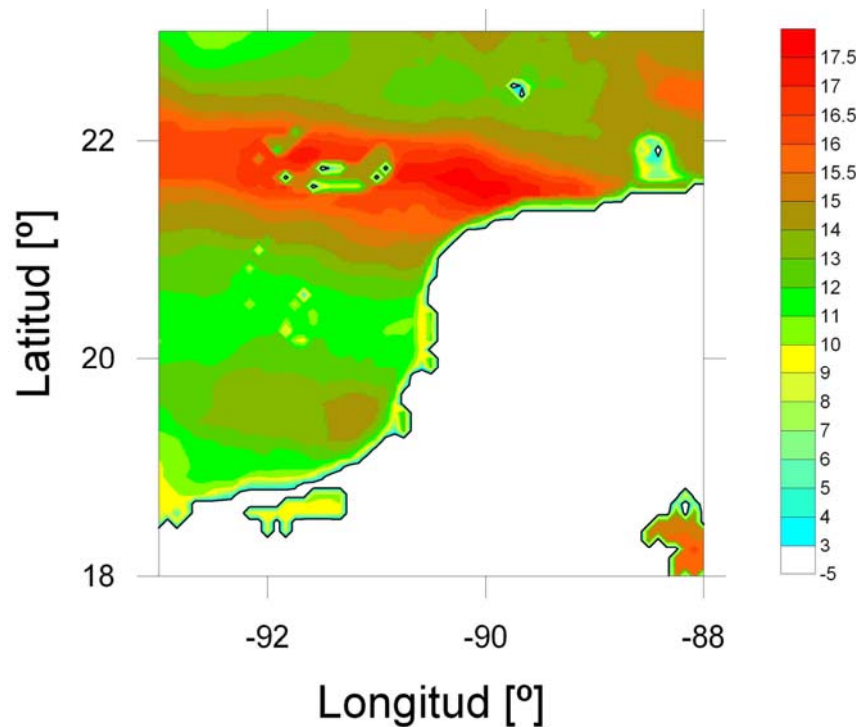


Figura 39.- Campo de oleaje regional, periodo de retorno de 100 años.

Como se puede observar, el comportamiento promediado de todos los huracanes y el típico representativo del evento más significativo, muestra variaciones asociadas a la movilidad e inestabilidad atmosférica propia de estos fenómenos. De manera que la zonificación ideal tendría que mostrar situaciones horarias en tiempo real, que además muy probablemente nunca se repetirían. Con el fin de mostrar las condiciones de susceptibilidad más probables según el evento extremo representativo para el área de estudio, los conceptos de impacto proximal frontal e impacto proximal asociado, se simplificaron según los parámetros cartografiados. De manera que se establecieron cuatro rangos con los siguientes impactos ponderados:

- Muy alto.- para las zonas de impacto proximal frontal donde impactan vientos ciclogénicos de 175 km/h cada 100 años, marea de tormenta de 3.95 metros cada 84 años, oleaje de tormenta de entre 8 y 10 metros cada 100 años y/o donde los tirantes de inundación superan los 70 cm. Se integra al mismo tiempo la cobertura de peligro por inundaciones extraordinarias donde ya se encuentran ponderadas las zonas donde se inhibe la infiltración.
- Alto, Medio y Bajo.- para estos rangos se consideran las mismas zonas con peligro de inundación extraordinaria. El impacto proximal asociado, según el impacto por viento, no se



puede diferenciar a niveles locales y hacia el interior de la ciudad, debido a la poca variabilidad altitudinal y a la carencia de estaciones meteorológicas hacia el interior de la zona urbana.

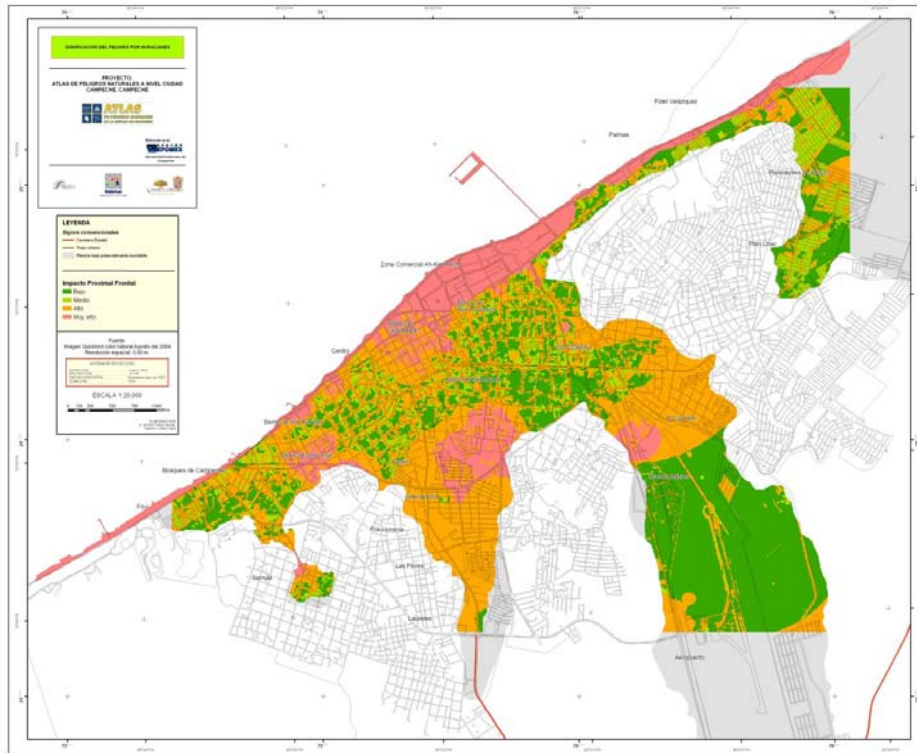


Figura 40.- Zonificación del peligro por huracanes en el área urbana y suburbana de Campeche.

■ Inundaciones súbitas puntuales. Identificación puntual de inundaciones súbitas.

Asociados con el coeficiente de escurrimiento máximo, se identifican los cauces revestidos (calles pavimentadas) potencialmente captadores de agua. Este concepto es similar al de densidad de disección aplicado en cuencas hidrográficas no interceptadas. Los cauces que en la naturaleza colectan las escorrentías superficiales, también se presentan en zonas urbanas como calles con orientación y pendiente favorables a los escurrimientos. La diferencia en realidad radica en la naturaleza del revestimiento (permeabilidad prácticamente cero) y la geometría de los cauces, que en el caso de las calles de Campeche, se trazan sobre los lomeríos. Esta condición incrementa exponencialmente la energía cinética de los flujos de agua e inhibe totalmente la infiltración. El trazo de los cauces revestidos inicia en el parteaguas o divisoria de aguas, siguiendo el terreno con mayor pendiente y terminando en los puntos de confluencia ubicados en las rupturas de pendientes entre las base de los lomeríos y la planicie de inundación.



La importancia de este mapa radica en ubicar los puntos de confluencia o lugares donde, por el trazo urbano, concurren una o más calles potencialmente captadoras de agua de escorrentía, que se convierten rápidamente en puntos críticos para las inundaciones súbitas y niveles de agua críticos. De esta forma se ubican puntualmente las áreas críticas donde la acumulación del agua es rápida y de volúmenes considerables.

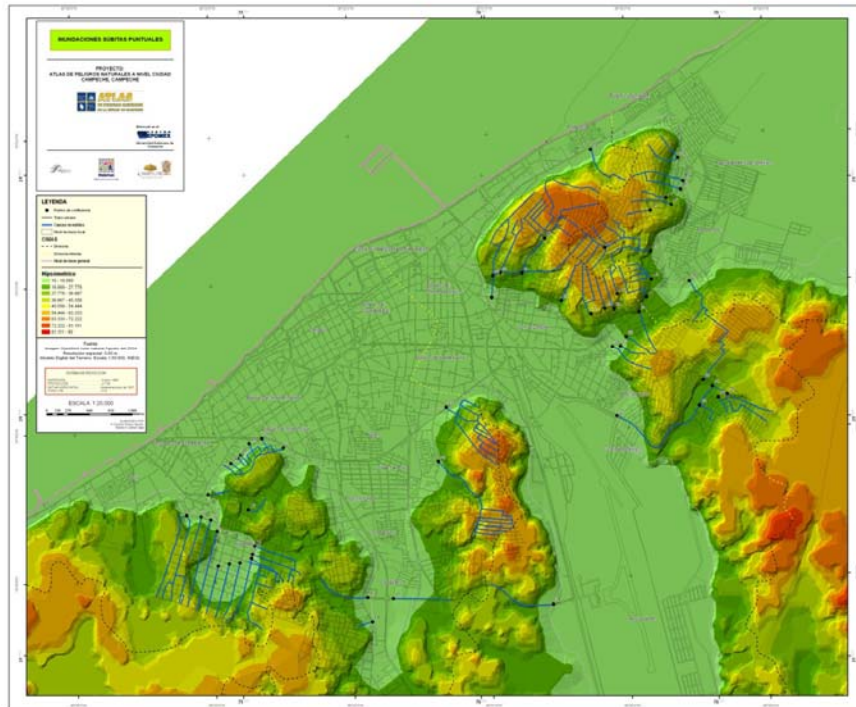


Figura 41.- Inundaciones súbitas puntuales en la ciudad de Campeche.

Los puntos de confluencia más importantes en la ciudad de Campeche se enlistan a continuación (Tabla 9) y se ubican en el mapa anexo denominado: “Inundaciones Súbitas Puntuales”.

Tabla 9.-Listado de puntos de confluencia susceptibles a inundaciones súbitas en Campeche.

Listado de puntos de confluencia
1.Calle 20 con 7
2.Calle 7 con 18
3. Calle 7 con Andador Prol. de la calle 7
4.Calle 14 con 9
5.Calle 12 con 17
6.Calle 10 con 15
7.Calle 8 con 15 A
8.Calle 6 / 11 y 13
9.Calle 6 con 11
10.Calle 9 con 6
11.Av. José López Portillo con 18
12.Av. José López Portillo / 5 Y 3



13. Av. José López Portillo/ Prolongación Pedro Moreno y calle s/n
14. Prolongación Pedro Moreno con Vicente Guerrero
15. Av. José López Portillo/Embotelladora PEPSI
16. Privada 2 de la Calle 18 esquina con Calle 18(2)
17. Prolongación Montecristo con José A. Torres
18. José A. Torres con Progreso
19. Prolongación Abasolo / Luis Donaldo Colosio y José A. Torres
20. Andador Victoria con Luis Donaldo Colosio
21. 20 D e Nov. / Av. Luis Donaldo Colosio y s/n
22. Av. Luis Donaldo Colosio con Jalisco
23. Calle Ecuador con la segunda privada de Ecuador
24. Av. López Portillo
25. Av. Concordia con 16 de Septiembre
26. Alberto Trueba con Eduardo Mena
27. Eduardo Lavalle / Circuito Pablo García Este y Joaquín Acereto
28. Circuito Pablo García Este / 10 este y 11 Este
29. Circuito Pablo García Este con 8 Este
30. Circuito Pablo García Este con Av. Concordia
31. Privada de la 18 con calle 1 A
32. Calle 1 con 20 de Nov.
33. Calle 1 con 14
34. Calle San Luis con Álvaro Obregón
35. Carretera Antigua Campeche - Mérida con andador Cangrejo
36. Calle 23 con 116
37. Calle 27 con 10
38. Calle 12 con 27
39. Calle Castellot / 27 y 29
40. Calle 25 / Juliancito y San Julián
41. Av. Circuito Construcción con Mercedes
42. Av. Circuito Construcción con Calle sol
43. Calle González Curi con Azucena
44. Privada Josefa Ortiz de Domínguez con Josefa Ortiz de Domínguez
45. Calle Santa Rosa con Felipe Carrillo puerto
46. Calle Socorro con San Manuel
47. Calle Azufre con s/n
48. Av. CTM con Oro
49. Av. CTM con Plata
50. Calle Topacio con Malaquita
51. Palmas con carretera antigua a Hampolol
52. Circuito Construcción con 108
53. Calle 110 con 108
54. Calle 108 con Villa Cabra
55. Villa Cabra con 104
56. Calle 5 con Villa Cabra
57. Calle 14 con 5 Alta peligrosidad. Confluencia múltiple

Para el mapa de Inundaciones Súbitas Puntuales, aplican tanto las condiciones meteorológicas para lluvias ordinarias torrenciales, como para lluvias extraordinarias debidas a tormentas tropicales y huracanes.

Si se sigue la tendencia actual de construcción de vivienda en las cimas de los lomeríos, se seguirán trazando calles en el sentido de la pendiente, se favorecerá la creación de nuevos puntos de confluencia, se inhibirán los actuales promedios de infiltración y por lo tanto se propiciara que en el futuro se incremente el volumen y la cantidad de agua acumulada en la planicie baja de Campeche.



■ Nortes.

En la atmósfera normalmente las masas de aire se desplazan en conjunto y se "estimulan" unas a otras. En cambio, raramente se mezclan. Esta propiedad es la causante del acentuado dinamismo de la atmósfera en la llamada superficie frontal, como se denomina a la superficie de contacto entre dos masas de aire. Las masas de aire frío que cubren las regiones polares tienen un límite muy irregular, con continuos movimientos fluctuantes hacia el norte y sur. El nombre con que se designa a este límite que separa el aire polar del tropical es el de **Frente Polar**. Dicho frente puede comportarse como frío o caliente, según el sentido con que se desplace. Debido a la gran diferencia de temperatura que existe a un lado y otro de este frente polar, la zona de separación es altamente inestable y propensa a la formación de perturbaciones. Los frentes pueden tener una longitud de 500 Km. a 5000 Km., un ancho de 5 a 50 Km. y una altura de 3 a 20 Km. La pendiente de la superficie frontal puede variar entre 1:100 y 1:500. La formación de los frentes se conoce como frontogénesis y el proceso inverso se llama frontolisis.

▪ Desarrollo de un frente frío.

Cuando una superficie frontal se desplaza de tal manera que es el aire frío el que desplaza al aire caliente en superficie, se dice que se está en presencia de un frente frío. Como la masa de aire frío es más densa, acomete al aire caliente por debajo, como si fuese una cuña, lo levanta, lo desaloja y lo obliga a progresar cuesta arriba sobre la empinada superficie frontal. El fenómeno es muy violento y en estos ascensos se producen abundantes nubes de desarrollo vertical como se muestra en la Figura 42.

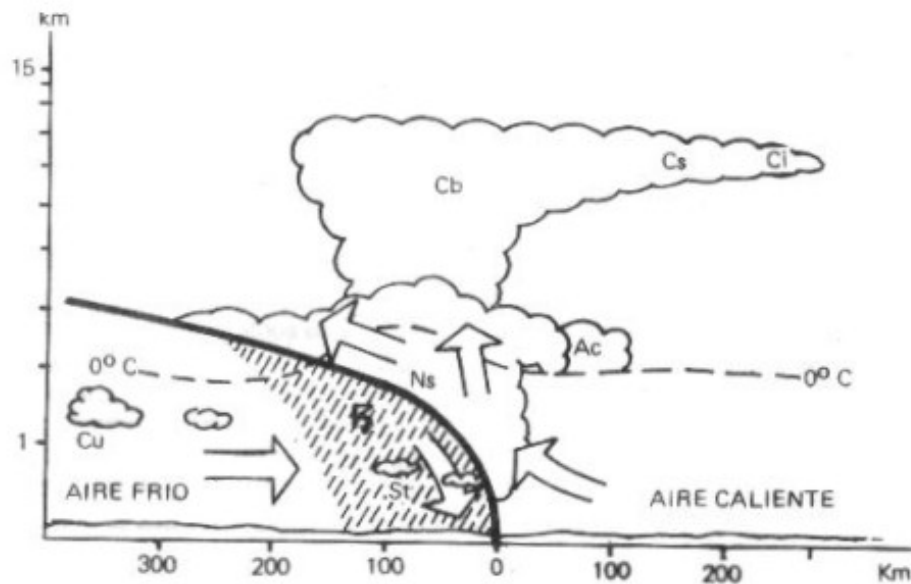


Figura 42.- Esquema de un frente frío.

Los frentes fríos inician su desplazamiento hacia los trópicos en el invierno, contrario al de los huracanes y ondas del este en verano. Durante el invierno dado la baja temperatura del mar (debajo de los 27°C), la intensa subsidencia, y la poca humedad disponible, la actividad convectiva es débil sobre la mayor parte del golfo de México. En esta época del año los sistemas de latitudes medias se desplazan hacia los trópicos alcanzando latitudes bajas, causando fuertes descensos de temperatura, y en ocasiones precipitación intensa, destaca la presencia de sistemas conocidos como *nortes* cuya interacción con las aguas del mar produce abundante nubosidad y precipitación sobre las cordilleras del este de México y Centroamérica. El paso de los frentes fríos sobre la región presenta una estrecha relación con la posición de la corriente de chorro subtropical, dado que dichos sistemas se sirven de ésta para su desplazamiento.

Las características que presenta un *norte* son muy parecidas a las asociadas al paso de un frente frío, pero si una masa de aire cálido es desplazada por una de aire frío se ocasionan vientos fuertes. Sus efectos son menores a los de un *norte* (caracterizado por vientos extraordinariamente intensos que soplan de norte a sur sobre el Golfo de México). Normalmente un frente siempre esta asociado a la presencia de una onda atmosférica, lo cual da una evidencia física de la similitud entre frentes fríos y *nortes*. Así entonces las circulaciones anticiclónicas asociadas a la onda pueden ocasionar en el Golfo de México vientos del norte por arriba de los 30m/s , descensos de temperatura desde 2°C hasta 15°C



en 24 horas, nubosidad baja, y en ocasiones precipitación sobre las cordilleras del este de México y Centroamérica, la duración de un norte generalmente es mayor de 24 horas, y su permanencia en el Golfo de México varía de acuerdo con la velocidad con que se desplaza la onda proveniente de latitudes medias. Lo cual justifica la utilización de vientos medios promediados en 6 horas. Distintos autores coinciden en que los *nortes* son resultado de la interacción del flujo con la orografía. En el caso de México, la sierra madre oriental es determinante en el rumbo e incremento de velocidad del flujo, presentando duraciones entre 3 y 5 días con intervalos de ocurrencia que van de 10 a 15 días.

▪ Análisis de datos extremos

De los datos procesados y siguiendo la metodología desarrollada en el Anexo Técnico, se evaluó para el periodo comprendido entre 1948-2005 el régimen extremal para tormentas de invierno (Fig. 43). Las tormentas de invierno se consideraron los máximos anuales entre los meses de noviembre y mayo.

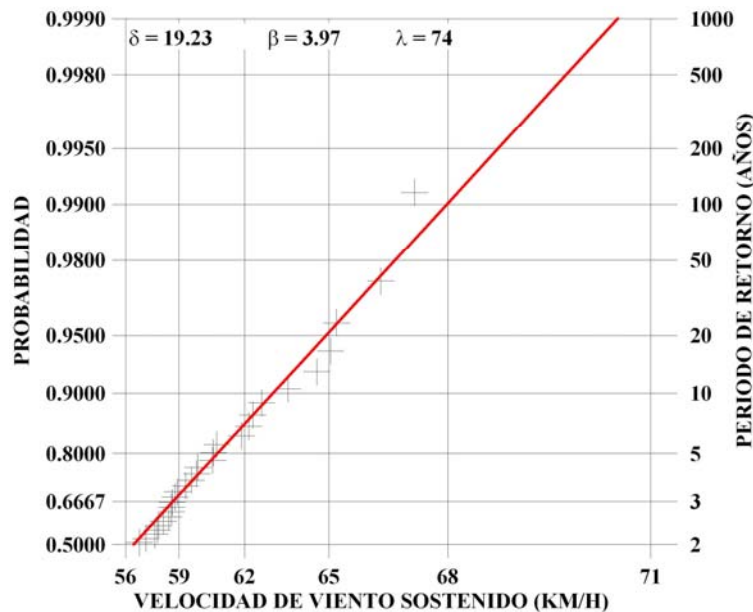


Figura 43.- Régimen extremal para vientos medios promediados durante 6 horas.



PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
Sequías Temperaturas extremas	<p>La ciudad de Campeche y en general la región presentan una temperatura media anual de baja oscilación (min. 22° c y máx. 27° C). Este evento no representa un peligro como tal, son las consecuencias asociadas a las sequías y las temperaturas extremas las que afectan el vigor en la vegetación, la recarga de los mantos acuíferos y la susceptibilidad a los incendios.</p> <p>El clima cálido subhúmedo con humedad relativa promedio del 70% impide que en la época de estrés hídrico la vegetación experimente sequía fisiológica. El periodo de lluvias es de junio a octubre y el riesgo promedio de sequías es del 10% al 20%. La zona no presenta temperaturas extraordinarias y los regímenes de precipitación solo se modifican drásticamente cuando ocurren eventos como los huracanes.</p>

■ **Sequía. Identificación y zonificación de peligros asociados.**

La sequía es una propiedad normal y recurrente del clima (Wilhite, 1997). Erróneamente, a veces se le considera como un evento poco frecuente y aleatorio. Sucede virtualmente en casi todas las zonas climáticas, aún cuando sus características varían significativamente de una región a otra (Wilhite, 1997). La sequía es una anomalía temporal y se distingue de la aridez, en que ésta última se restringe a regiones de baja precipitación y es una característica permanente del clima. Se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un periodo extendido de tiempo. Esa deficiencia ocasiona una escasez de agua para el desarrollo de actividades de grupos o sectores de la población. También se le relaciona con la ocurrencia temporal de las lluvias (*i.e.* estación principal en la que ocurre retraso en el inicio de la época de lluvias, ocurrencia de las lluvias en relación a las etapas principales de crecimiento de los cultivos) y la efectividad de las lluvias (*i.e.* intensidad de las lluvias, número de eventos de lluvia). Existen otros factores climáticos que agravan la severidad de una sequía y que son asociados con ella, como son altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa.

Se dice que hay sequía en una zona cuando permanece sin llover más tiempo del habitual y comienzan a notarse efectos negativos. Como se ve la definición es muy subjetiva y, de hecho, es difícil decir cuando ha empezado o terminado una sequía y algunas veces incluso si ha existido. Ante la dificultad para establecer criterios precisos para definir la sequía, se han propuesto varias medidas de aridez. En el Atlas Nacional de México,



elaborado por el Instituto de Geografía (UNAM), se muestran, en mapas escala 1:8,000,00 algunos índices de uso frecuente como:

- El Índice Pluvial de Thornthwaite (función de la demasía o deficiencia de agua y la evapotranspiración anual).- para el Estado de Campeche, se encuentra dentro del rango expresado en porcentaje, entre -40 y -20, con carácter de humedad, seco.
- El Índice de Aridez de Lang P/T (precipitación anual en mm/ temperatura anual en ° C según límites y designaciones de García, 1964).- en el Estado de Campeche, se ubica entre los 43.2 y 30 mm, y le corresponde la denominación de zona subhúmeda de menor humedad.
- El Índice de Aridez P/E (precipitación anual en mm. /evaporación anual en mm., según Davidson).- en Campeche alcanza rangos entre 0.75 a 1.0 mm de P/E que corresponde a regiones subhúmedas.
- Evaporación total anual (evaporación en mm.).- en el Estado de Campeche alcanza entre 1800 y 2000 mm. anuales de evaporación.

Entre los diferentes enfoques e índices que sobre la sequía existen, se seleccionó el índice de precipitación estandarizada (IPE), como el índice de uso actual más realista y aplicable a una zona tropical subhúmeda (los detalles del cálculo se incluyen en el anexo técnico). El IPE es un índice simple para medir la sequía, y se basa en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un periodo dado. Una característica clave del IPE es la flexibilidad de medición de la sequía en distintas escalas temporales. Debido a que las sequías tienen una gran variación en la duración, es importante detectarlas y monitorearlas en una variedad de escalas temporales. Las sequías de corto término, son medidas por instrumentos meteorológicos y son definidas de acuerdo a la climatología regional específica.

Después de analizar estadísticamente la precipitación mensual acumulada durante todos los meses desde 1921 hasta el 2001, se calculó el IPE para la Ciudad de Campeche, variando entre Severamente Seco (casos aislados) y Extremadamente Húmedo, según los rangos de la Tabla 10. Se define una sequía cuando el IPE es continuamente negativo y alcanza un valor de -1.00 o inferior, y continúa hasta que el IPE se torna positivo. La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del periodo y la magnitud se mide sumando los valores del IPE durante los meses de la sequía.



Tabla 10.- Rangos de IPE y categoría de sequía.

Valores IPE	Categoría de sequía
2.00 o más	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-2.00 o menos	Extremadamente seco

<http://www.tecnociencia.es/especiales/sequia/indices.htm>

Para identificar la significancia histórica de la sequía, después de calcular el IPE para todos los meses de la base de datos, se identificó la frecuencia de cada una de las categorías de sequía que se presentaron entre 1921 y 2001.

Tabla 11.- Rangos de IPE y categoría de sequía.

Categoría de Sequía	Frecuencia 1921-2001	Porcentaje
Extremadamente Húmedo	32	3.93%
Muy Húmedo	53	6.51%
Moderadamente Húmedo	64	7.87%
Normal	617	75.89%
Moderadamente Seco	45	5.53%
Severamente Seco	0	0%
Extremadamente Seco	2	0.24%

Como se observa en las Tablas anteriores, el peligro o amenaza por sequía para la ciudad de Campeche, es bajo para el promedio regional y local, con más del 70% de los valores históricos de 80 años, en el rango de normal. Sin embargo, si se han presentado años Extremadamente Secos con IPE= -2, como 1925 entre los meses de Octubre y Diciembre y Severamente Secos con IPE = -1.50 a -1.99 en marzo de 1997. Los periodos de sequía más frecuentes para la ciudad de Campeche, se han presentado entre los meses de Enero a Mayo y de Octubre a Diciembre (en menor grado) para los años, 1925, 1929, 1930, 1937, 1945, 1947, 1948, 1952, 1953, 1955, 1958, 1964, 1968, 1974, 1978, 1982, 1983, 1984, 1986, 1991, 1996, 1993, con valores de IPE Moderadamente Secos. Cabe señalar que seguramente 1998 (año con fenómeno del Niño) presentó sequía, sin embargo, no existen datos de la CNA para comprobarlo.

En ambientes artificiales como las zonas urbanas donde se crea un abasto de agua constante por bombeo, las condiciones de sequía se convierten en peligro solo por el abatimiento de los niveles freáticos (condición que aún no se presenta en Campeche) o



incendios fuera de control en zonas suburbanas o predios baldíos extensos. Para evaluar la susceptibilidad a los incendios como una amenaza potencial, se zonifican las condiciones que facilitan que agentes detonadores, generalmente de origen humano, originen y propaguen incendios.

■ Incendios. Identificación y zonificación de la susceptibilidad a incendios.

En México, los incendios son en su mayoría provocados, y casi toda la superficie afectada se pretende destinar o se destina a la agricultura o ganadería (por lo general de subsistencia), lo que garantiza su degradación ecológica y erosión. A pesar de esta realidad y de sus profundas causas económicas, institucionales y demográficas, en México los incendios generalmente se consideran fatalidad natural, obra de paseantes irresponsables o de conductas vandálicas.

Los incendios en el sureste de México y en particular en Campeche, se presentan principalmente en la época seca del año, ente enero y mayo. Durante esta época ocurren la mayoría de los incendios, por lo que en términos de predisposición climatológica, se les considera peligro de expresión asociada a las sequías.

Para prevenir incendios en las zonas suburbanas, se pueden identificar condiciones ambientales que predisponen la susceptibilidad a su ocurrencia. La predisposición se basa en la identificación de zonas con distintos grados de susceptibilidad a los incendios mediante la elaboración de un mapa síntesis donde se integró la información relativa a:

- Cubierta del suelo ajustada/modificada, según tipo de combustible (Cortés y Chuvieco, 2005)
- Pendientes.
- Aspecto u orientación preferente de laderas.
- Patrón de vientos dominantes.

La cubierta del suelo se clasificó a partir de una imagen Landsat ETM + del 22 de Enero del 2003, con resolución mejorada a 12.5 m de píxel. Mediante una clasificación no supervisada (algoritmo ISODATA), obteniéndose las siguientes clases: cuerpo de agua, manglar, selva baja, selva mediana, pastizal natural, pastizal inducido, sabana, zona agrícola, carreteras, caminos, áreas sin vegetación y zona urbana (Fig. 44). Las cubiertas se codificaron y adaptaron según la propuesta original de Cortés y Chuvieco (2005), para modelar la susceptibilidad de los tipos de cubierta según el tipo de combustible. Las características especiales para la zona incluyen humedad en el suelo (suelos hidromórficos



estacionalmente saturados de agua) y diversos estratos de vegetación herbácea y arbórea, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.- Tipos de combustible según los tipos de cobertura en el área de estudio.

Susceptibilidad	Nombre	Descripción	Tipo de cubierta del suelo
1. Alta	Combustibles a nivel del suelo	Pastizal	Pastizales naturales, e inducidos, sabanas, zonas agrícolas.
2. Media	Cubierta con combustible rasante	Se presentan asociaciones de selvas bajas y pastizales	Selva baja caducifolia y subcaducifolia.
3. Baja	Cubierta con combustible aéreo	Arbustos y matorrales en superficie, y presencia de hojarasca y otros restos vegetales (ramas y troncos)	Selva mediana subperennifolia.
4. Nula	No combustible	No combustible	Zona urbana, áreas sin vegetación, carreteras, caminos, manglares y cuerpos de agua.

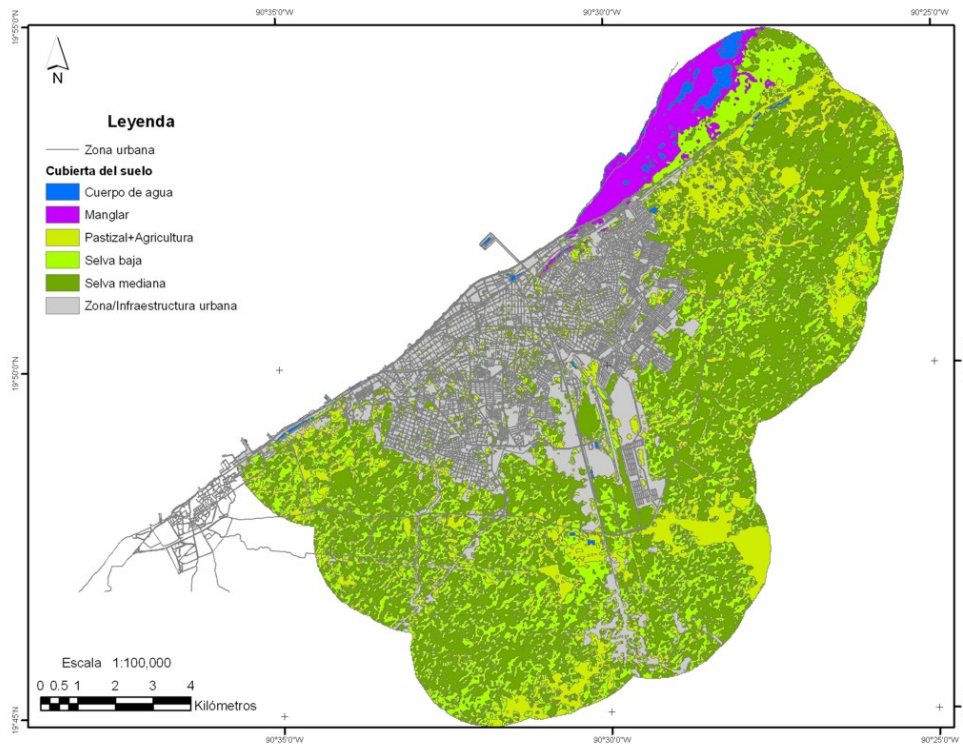


Figura 44.- Clasificación de la cubierta del suelo en la zona urbana y suburbana de Campeche.



A partir de los criterios de ponderación señalados en la Tabla anterior, se obtuvo un nuevo mapa ponderado, según la susceptibilidad de la cubierta vegetal a los incendios como combustible (Fig. 45)

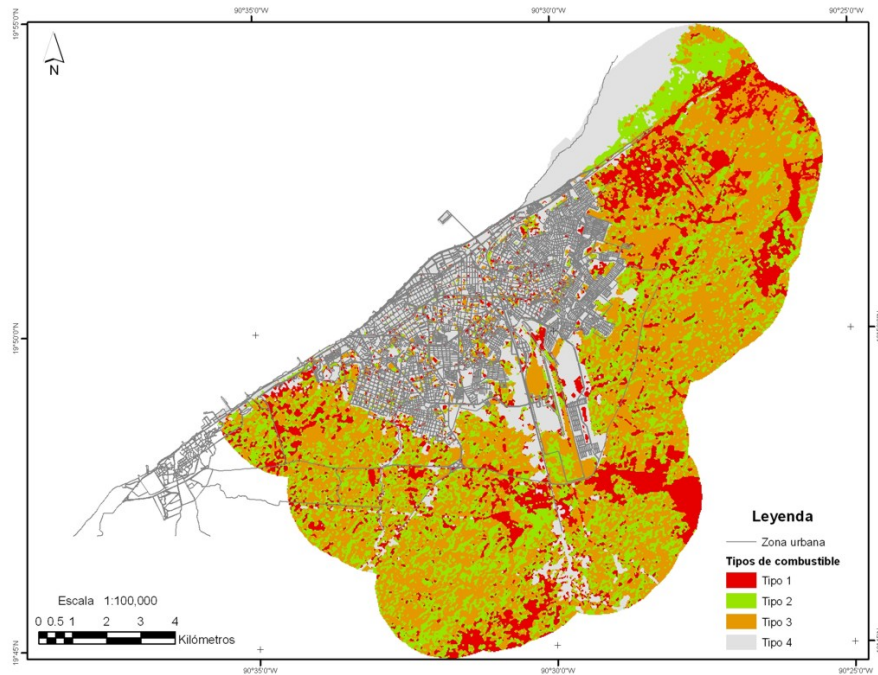


Figura 45.- Clasificación de la cubierta del suelo por tipo de combustible en la zona urbana y suburbana de Campeche.

Las pendientes y el aspecto (orientación preferente de las laderas) se obtuvieron a partir del modelo digital de elevación del INEGI, escala 1:50,000. Estas dos capas se modificaron en grupos de susceptibilidad a los incendios (Chuvieco y Congalton, 1989). Las pendientes se ajustaron en tres rangos: entre 0-7°, susceptibilidad baja, sobre planicies subhorizontales; entre 7.1-12°, susceptibilidad media, en declives de transición, y $\geq 12.1^\circ$ susceptibilidad alta en lomeríos (Fig.46), partiendo del principio de que a mayor pendiente mayor susceptibilidad a la propagación de los incendios por viento.

El aspecto (orientación preferente de las laderas) se ajustó en función de los vientos dominantes, adquiriendo mayor valor de susceptibilidad a incendios, aquellas orientaciones de laderas favorables al régimen eólico dominante en la época seca del año. Se obtuvieron 4 grupos de susceptibilidad a los incendios: bajo, medio, alto y muy alto (Fig.47). El grupo de valor muy alto, corresponde a la dirección sureste del viento dominante para la ciudad de Campeche en la época seca. Los valores subsiguientes están asociados a la dirección este-sureste y norte, en grados medio y bajo respectivamente.

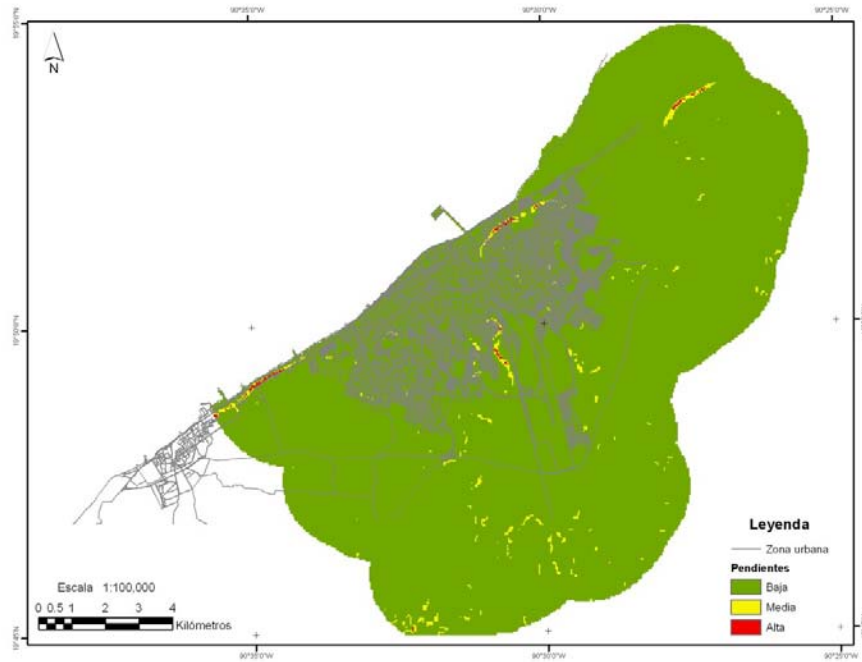


Figura 46.- Clasificación del terreno según rangos de pendiente en la zona urbana y suburbana de Campeche.

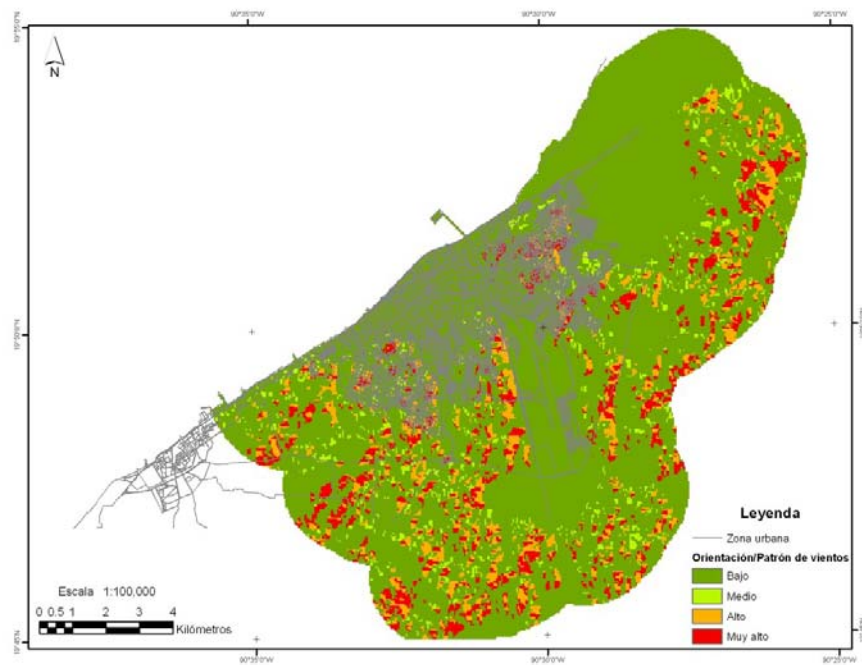


Figura 47.- Clasificación del terreno según la orientación preferente de las laderas en la zona urbana y suburbana de Campeche.



Como resultado de la zonificación del peligro de incendios ponderados, se obtuvieron 4 rangos: bajo, medio, alto y muy alto (Fig.45).

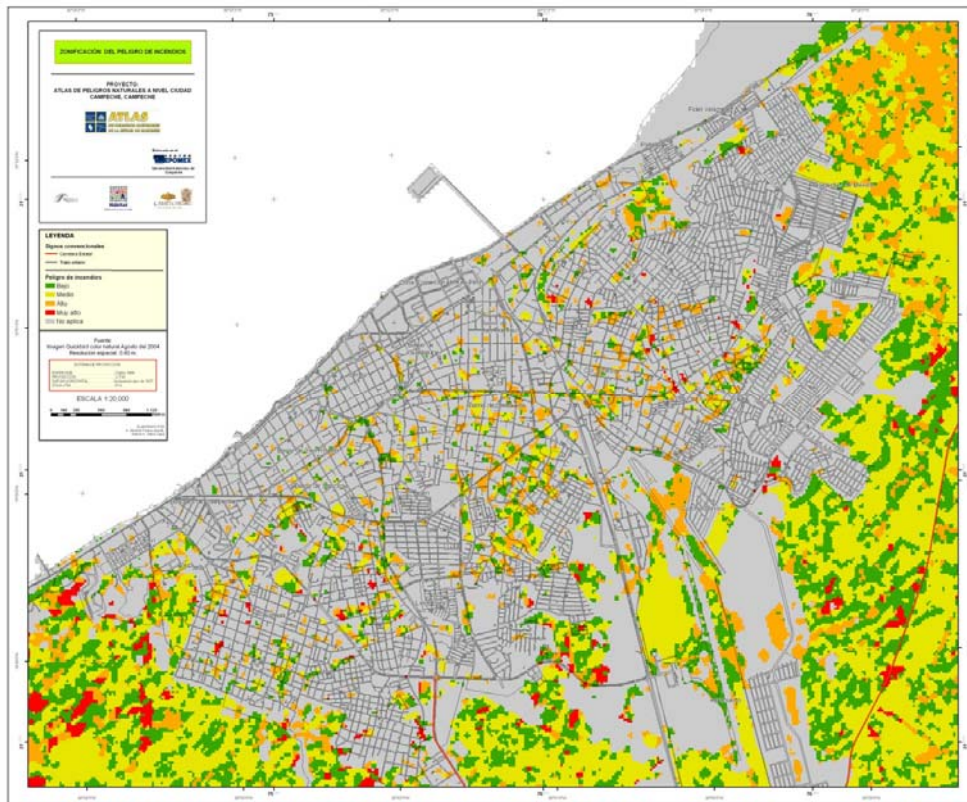


Figura 48.-Zonificación de la susceptibilidad a los incendios en la zona urbana y suburbana de Campeche.

PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS	CARACTERIZACIÓN Y PELIGRO POTENCIAL
<p>Granizadas Heladas Nevadas Nortes Tormentas eléctricas</p>	<p>Por su ubicación latitudinal y regional del territorio Estatal, la Ciudad de Campeche y su zona suburbana, presentan clima cálido subhúmedo. Dominan condiciones atmosféricas tropicales aún en la época invernal. Solo se experimenta una baja de temperatura máxima de hasta 12°C ante la invasión de frentes fríos que bajan desde las grandes planicies de los Estados Unidos de América cruzan el Golfo de México y se convierten en “Nortes”. Ante tales condiciones climáticas y meteorológicas, en la región no se presentan granizadas, heladas, nevadas o tormentas eléctricas.</p>



■ Riesgo hidrometeorológico. Identificación y zonificación de riesgo por inundaciones.

Los mapas de riesgos incluyen la afectación a la población y la infraestructura urbana, según sus valores de vulnerabilidad o grado de exposición ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores. Para su concepción, se retoman los elementos de la ecuación conceptual de riesgo y se adaptan según el siguiente planteamiento:

- **Riesgo de inundaciones ordinarias/extraordinarias** = Amenaza (Peligro de inundaciones) + Consolidación de la vivienda + Densidad de población

Las coberturas de amenaza corresponden a las generadas para el mapa de zonificación de peligro de inundaciones ordinarias y extraordinarias descritas anteriormente. En ambas, se caracteriza el comportamiento espacio-temporal de la amenaza.

Para complementar el concepto de peligro natural incorporando criterios de riesgo como vulnerabilidad, se propone una capa de consolidación de la vivienda o vulnerabilidad de las construcciones ante la ocurrencia de fenómenos extraordinarios como huracanes. Los criterios para la elaboración del mapa de vulnerabilidad a peligros se basan en los materiales que componen las viviendas, según se describen a continuación.

- Techos: ligero, precario natural
- Techos de losa, concreto, tabique, ladrillo, terrado con vigas
- Paredes: ligeras, naturales y precarias
- Pared: tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento, y concreto.
- Piso: cemento, mosaico, madera u otro recubrimiento.

La combinación de estas características permitió elaborar mapas de consolidación de la vivienda por colonia, según el porcentaje relativo de de viviendas consolidadas, representado la vulnerabilidad a peligros naturales en general y a inundaciones en particular. La valoración de consolidación de la vivienda (Tabla 13) se realizó con base en el porcentaje de viviendas no consolidadas, de tal manera que a menor proporción de este tipo de viviendas la unidad es menos vulnerable y viceversa.

Tabla 13.- Valoración de la vulnerabilidad estructural y rangos de clase para su clasificación.

Valoración	%
Baja	0 - 33.3
Media	33.4 - 66.6
Alta	66.7 - 100



El índice de consolidación de la vivienda está compuesto por la proporción de viviendas consolidadas / viviendas no consolidadas, obtenido a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad Estructural} = [\% \text{ Viv. Consolidadas}] / [\% \text{ Viv. No consolidadas}]$$

Donde:

- [% Viviendas Consolidadas] = Viv. Part. con techos de losa, tabique, ladrillo o terrado con vigería + Viv. Part. con paredes de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto + Viv. Part. con piso de cemento, mosaico, madera y otro recubrimiento.
- [% Viv. No Consolidadas] = Viv. Part. con techos de materiales ligeros, naturales y precarios + Viv. Part. con paredes de materiales ligeros, naturales y precarios

Para elaborar la cobertura de consolidación de la vivienda (Fig.49), se tomó como unidad del terreno de referencia, las colonias de la ciudad de Campeche, así como la información estadística del SINCE2000 del INEGI (Sistema para la consulta de Información Censal).

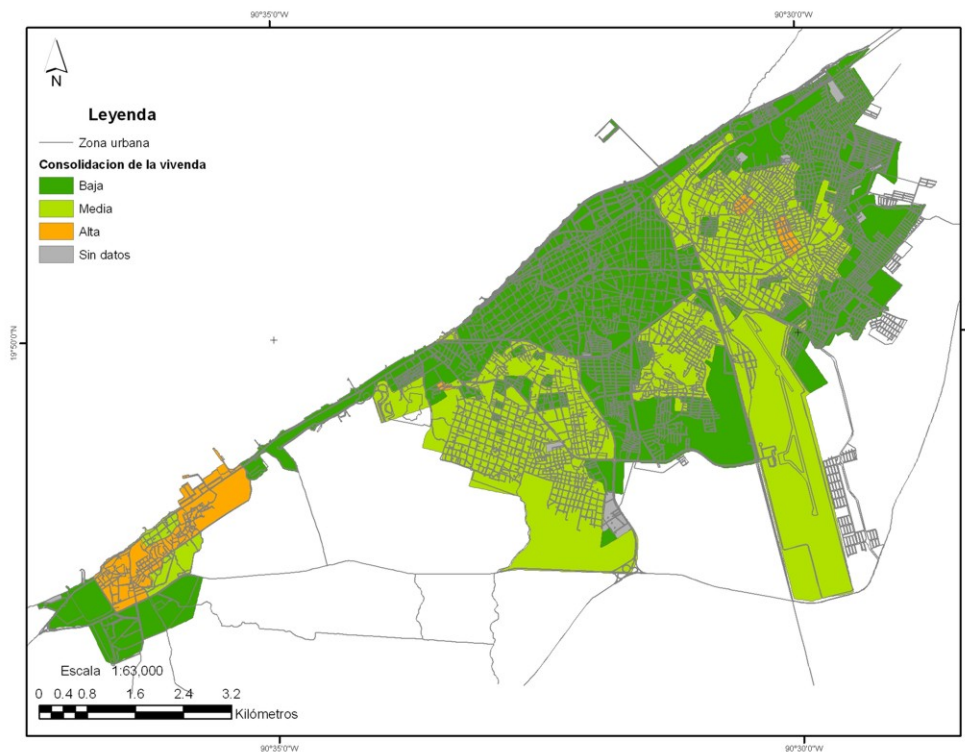


Figura 49.- Consolidación de la vivienda en la ciudad de Campeche.

La intensidad con que la población ocupa el territorio es una directriz fundamental en las medidas de prevención y mitigación. En el país se presentan ejemplos extremos (www.inegi.gob.mx. Estadísticas por tema. Estadísticas sociodemográficas) como Chihuahua, que



es el estado más grande de la República Mexicana (244 938 km² de superficie), con una densidad de población de 12 hab/km², y en contraste, el Distrito Federal, con 1 479 km², que es la entidad federativa más pequeña pero con mayor densidad poblacional alcanzando 5799 hab/km². El Estado de Campeche presenta a nivel estatal, un promedio de 12 hab/km², ocupando el lugar 28 a nivel nacional. Sin embargo, la realidad de las concentraciones urbanas frecuentemente se aleja de los promedios. Para la ciudad de Campeche la densidad varía entre 1 y 221 hab./km² y para fines de su importancia relativa, se estructuró de la siguiente manera: baja (1 – 49 hab./km²), media (50 – 106 hab./km²) y alta (107 - 211 hab./km²).

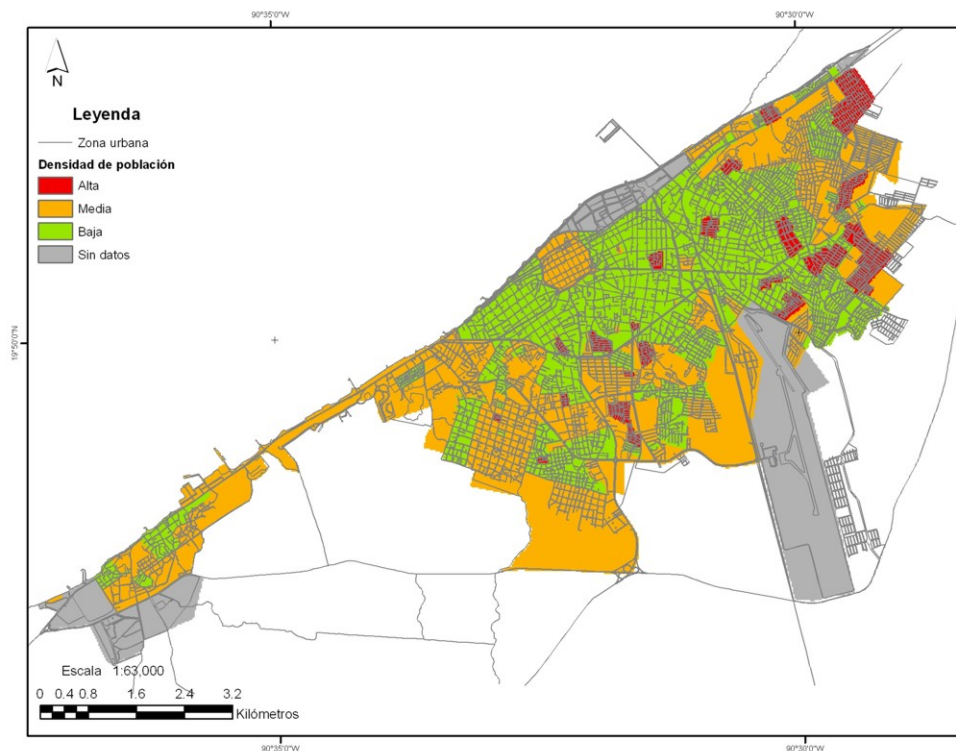


Figura 50.- Densidad de población en la ciudad de Campeche.

Al final, después de ponderar las tres coberturas antes detalladas, se obtuvieron 3 niveles de riesgo: Alto, Medio, Bajo para dos mapas síntesis “Zonificación de riesgo por inundaciones ordinarias en la ciudad de Campeche” (Fig.51) y “Zonificación de riesgo por inundaciones extraordinarias en la ciudad de Campeche” (Fig.52). En ambos mapa se incluye el valor Nulo, para los casos en los que alguna de la variables no existiera o fuera de valor cero.

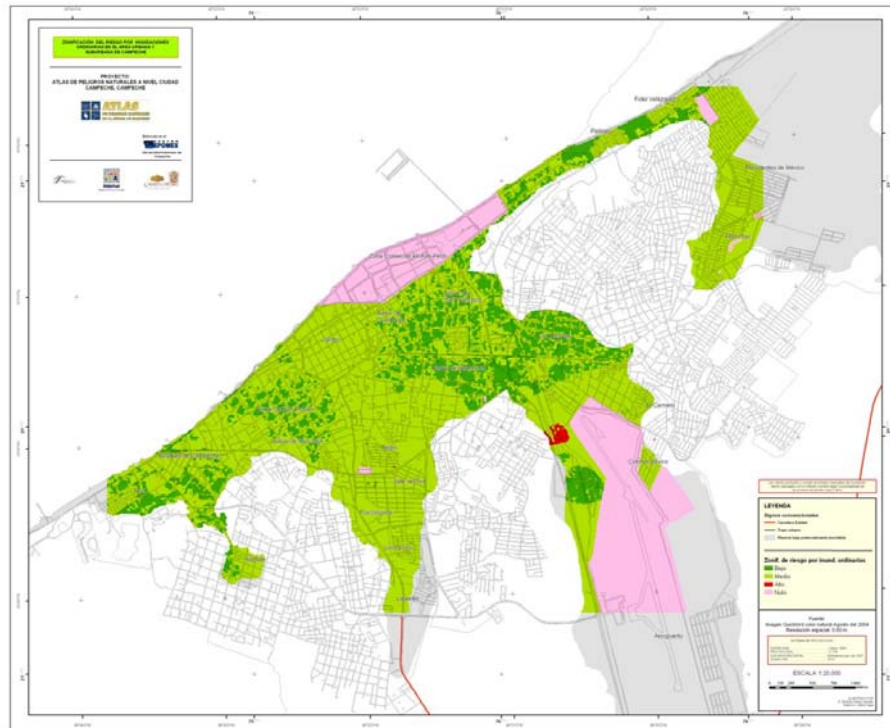


Figura 51.- Zonificación de riesgo por inundaciones ordinarias en la ciudad de Campeche.

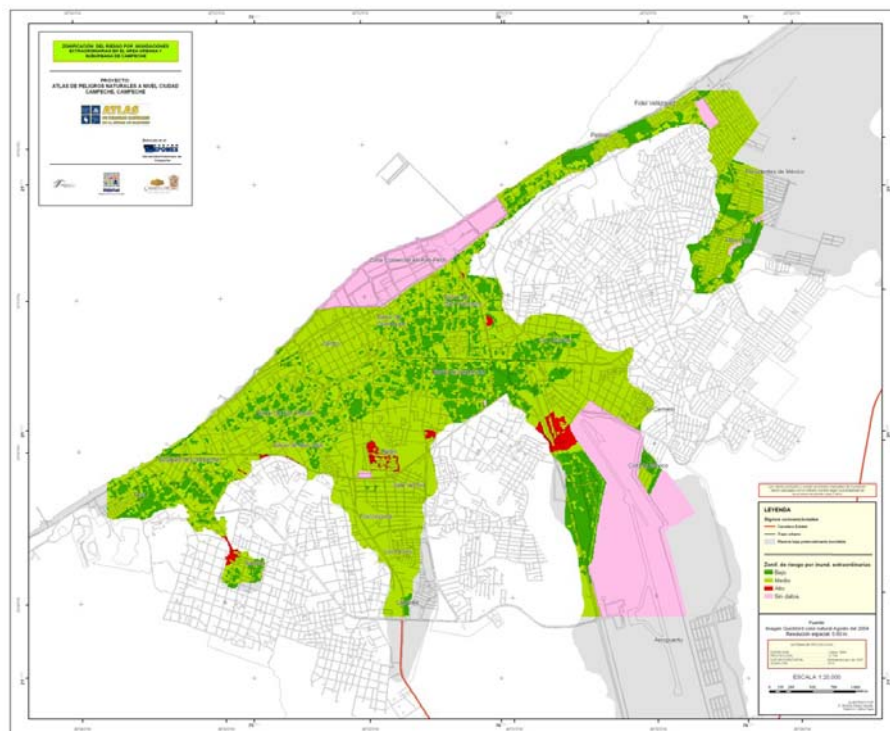


Figura 52.- Zonificación de riesgo por inundaciones extraordinarias en la ciudad de Campeche.



CAPÍTULO IV. PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

■ Mecanismos de prevención y alerta ante la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos.

Los mecanismos de prevención incluyen medidas técnicas y/o de ingeniería, culturales o de difusión de la información, y legales para restringir o regular el desarrollo urbano, según los grados o niveles de peligrosidad de un fenómeno natural específico. En este sentido, las estrategias de alertamiento temprano y de cultura de la prevención, así como las políticas y regulaciones del desarrollo urbano, deberán incluir en el corto y mediano plazo, el valor intrínseco de la infraestructura urbana y su relación con la intensidad probable del fenómeno natural peligroso.

- **Identificación de la aptitud urbanística según los grados de amenaza y el valor intrínseco de la infraestructura urbana. Valor por tipo de Sociosistema Afectable (Propuesta de Palacio, 1995).**

Para poder valorar objetivamente la susceptibilidad a las pérdidas en el sociosistema afectable ante la ocurrencia de un fenómeno natural peligroso, es necesario basarse en elementos medibles cualitativa y cuantitativamente. Estos elementos se obtienen, para el caso del medio ambiente antrópico, a partir del análisis territorial del proceso de urbanización.

Entendiendo la urbanización como un proceso en el que las áreas rurales se transforman en urbanas y en el que la población evoluciona de un tipo de vida tradicional-rural a otro moderno-urbano, en la ciudad de Campeche se pueden diferenciar dos zonas, una en donde la estructura urbana está bien definida y otra en donde el proceso de urbanización está aún en vías de consolidación. La primera zona abarca el centro, la zona comercial y sus colonias asociadas, y la segunda las zonas periféricas en donde aún existen vínculos entre las actividades rurales y sus formas de integración a la vida urbana. La afectación del fenómeno se circunscribe entonces a estas zonas urbanas con distintos grados de consolidación. A partir del concepto de consolidación, usado como índice por Ward (1976) y Valverde *et al.* (1990), se consideran algunas variables para evaluar el valor.

Según lo anterior el marco espacial de referencia más adecuado para establecer valores por sectores, es el uso del suelo urbano. Cada uso tiene un valor asociado en



términos de inversión en infraestructura y población. Los criterios generales para establecer el valor son: calidad de los materiales usados en la construcción, acondicionamiento en servicios públicos y domiciliarios (Ward, 1976 y Valverde et al. 1990), costo individual y/o social de los daños, patrimonio cultural, valor comercial del m^2 (indicador complementario) y población expuesta. A continuación se explican las variables generales con su valor representativo, para después aplicarlas a los sectores con distintos usos del suelo (Palacio, 1995).

Los materiales usados en la construcción se pueden diferenciar en: permanentes y semipermanentes o perecederos. Los de permanencia indefinida tienen mayor valor porque representan mayor inversión en materiales de buena calidad (tabique, tabicón, losa, block) que proporcionan seguridad en las construcciones. Estos a su vez pueden ser de buena o mala calidad, condicionando entonces variantes en la apreciación de su valor original. En este rubro se incluye la valoración de los acabados y el mantenimiento como calificativo complementario. Por otra parte, los semipermanentes implican menores costos de inversión pero se deterioran rápidamente (techos de láminas de cartón, paredes de agregados de tierra y piedras, etc), por lo que es necesario reemplazarlos en el mediano plazo.

Los servicios son un elemento inherente a la estructura física y funcional de las áreas urbanas. Para los fines de este trabajo se han dividido en básicos con mayor valor y complementarios con valores menos considerables. Los básicos son: agua potable, drenaje, energía eléctrica y hospitales, los tres primeros forman parte de los servicios municipales y el cuarto de los servicios medico-sanitarios. Se consideran básicos porque tienen un costo más que individual o local, social, debido a que su afectación directa o indirecta involucra no sólo los daños materiales sino la interrupción de suministros y servicios indispensables para un número importante de personas. Las formas de acondicionamiento de estos servicios, ya sean de tipo público o hacia el interior de los domicilios determinan más valor para el caso de los domiciliarios y menos para los públicos, pudiendo resultar también una sumatoria cuando se cumplan las dos variables. Esta sumatoria estará definida proporcionalmente según la existencia o no de todos los servicios, esto quiere decir que si existen todos los servicios la sumatoria se mantiene, pero si sólo existen algunos se registrará el valor adicional (Palacio, 1995). Los servicios complementarios son también importantes pero no indispensables en términos de supervivencia. Los más representativos dentro de la generalidad del equipamiento colectivo de servicios son: en los servicios municipales: pavimentación, policía y bomberos; en los servicios de transporte público: centrales de autobuses, ferrocarriles y



aeropuertos; en los servicios de comunicación: correos, telégrafos y teléfonos en red interna y externa; en servicios de comunicación social: cines, periódicos y radiodifusoras; en servicios médico-sanitarios: consultorios y clínicas; en servicios escolares: primarias, secundarias, preparatorias, subprofesional y profesional; en servicios comercial-financieros: tiendas de menudeo y mayoreo, mercados, rastros, centros comerciales, centrales de abasto y bancos; en servicios recreativo-deportivos: parques, jardines, locales y campos deportivos; y en servicios culturales: bibliotecas, museos, librerías y teatros. En todos los casos se refiere la presencia física del servicio y no sus componentes móviles como autobuses, ambulancias, mercancías, etc.

Los usos del suelo se conciben como las respuestas a intereses y necesidades individuales y/o sociales. Desde esta perspectiva la afectación tiene también un costo individual o social y por tanto un valor. Habrá entonces usos como el habitacional, que de ser dañados afectan el patrimonio de individuos o familias pero no al conjunto de la sociedad, y usos como el comercial, que de ser afectados ocasionan desequilibrios en el orden social establecido. A su vez dentro del costo social existen dos matices: el social limitado y el social extendido. El primero se refiere a la afectación importante sobre grupos más o menos reducidos (fuentes de trabajo, como fábricas) y el segundo a una afectación más generalizada.

En lo referente a la población, su valor se define a partir del tipo de estancia o permanencia de los ciudadanos en los diferentes usos del suelo. Así se tienen las zonas de ocupación permanente, semipermanente y flotante. Las zonas con mayor valor serán las habitacionales, debido a que siempre hay ocupación humana. Le siguen las zonas de población semipermanente, en donde la ocupación humana cubre sólo parte del día en horarios y/o días establecidos. Y finalmente las zonas de población flotante que son ocupadas indistintamente durante el día, en bajas densidades y mucha movilidad.

Según lo planteado anteriormente, los criterios de valor establecen para cada uso del suelo, tres clases de valor: alto (A), medio(M) y bajo(B), mismos que son el resultado de promediar la suma horizontal de los valores parciales y su apreciación cualitativa. Se promedia con el fin de normalizar los valores dentro de los rangos manejados en toda la metodología. El máximo valor teórico que se puede obtener es 3, y a partir de éste es que establecen las clases de valor.

Para el uso **habitacional popular** se obtuvieron dos zonas con distinto valor: *la zona antigua (z.a.)* y *la zona moderna (z.m.)*. El acondicionamiento de la vivienda para este



uso del suelo es en general inadecuado y/o insuficiente y en algunos casos no cumple con los requerimientos técnicos básicos, además de carecer del mantenimiento mínimo que evite su deterioro, depreciación y riesgo para habitarlas. Las dos subzonas tienen como características comunes el costo individual y la ocupación permanente. Para el caso de la **zona antigua** (zona habitacional centro, del siglo pasado y antes) los materiales son permanentes pero de baja calidad (adobe sin mantenimiento y acabados burdos). Dispone de todos los servicios básicos (públicos y domiciliarios) debido a que se encuentra en la parte antigua de la ciudad, sin embargo, reciben poco mantenimiento lo que implica su creciente deterioro.

Por otra parte la zona **habitacional popular**, en su **zona moderna**, abarca áreas ejidales de reciente colonización en donde los materiales de construcción son, en general, semipermanentes (láminas de cartón u otros materiales en paredes o techos, agregados de piedra y tierra, etc.) y en donde la dotación de servicios públicos y hacia el interior de las viviendas se retrasa, es incompleta o inexistente

En el uso **habitacional medio** la calidad de la construcción puede ser buena y disponer de todos los servicios domiciliarios y públicos, aunque estos pueden llegar a ser ineficientes o incompletos. El mantenimiento en la construcción es poco frecuente. El costo es individual y la ocupación permanente (FOVISSSTE, INFONAVIT) mostrando ya mayor valor que el uso habitacional popular, en términos monetarios.

La zona **habitacional residencial** dispone de recursos económicos para edificar mejores construcciones e instalarles todos los servicios. Los materiales usados son de alta calidad (tabique, tabicón, losa, block) y su mantenimiento es constante. Asimismo el nivel económico agiliza la instalación de servicios públicos como agua potable, energía eléctrica, drenaje, pavimentación y servicios de limpia. Es por esto que la valoración de las pérdidas es mayor en la zona habitacional residencial. El costo es individual y la ocupación humana permanente. Un indicador adicional que refleja además ventajas comparativas, es la ubicación, accesibilidad y comunicaciones.

El uso **industrial** implica daños restringidos a la propiedad privada. Sin embargo, en algunos casos las inversiones para recuperar el capital fijo son muy elevadas. Su importancia radica en que el daño a la infraestructura (materiales permanentes de baja calidad). El costo social es limitado, debido a que la posible pérdida afecta sólo algunas fuentes trabajo; y la ocupación es semipermanente porque sólo se ocupan las instalaciones en los horarios de trabajo.



La zona **comercial-financiera** incluye tiendas al menudeo, tiendas al mayoreo, mercado municipal, central de abastos y bancos; tiene vida durante parte del día (ocupación semipermanente). Su costo social es extendido debido a que es un centro de acopio y consumo de todo tipo de productos a nivel local y regional. Es por tanto área de abasto para toda la población y base económica de ingresos y empleo para un sector importante de la misma. Los materiales empleados en la construcción son permanentes y no es necesaria, salvo en casos concretos, que éstos sean de alta calidad.

El **patrimonio cultural** está compuesto de monumentos, elementos ornamentales en sitios públicos, escultura religiosa y moderna y edificios históricos. De todos estos elementos los únicos inamovibles y por tanto expuestos a la afectación del fenómeno son los edificios históricos. Los materiales usados en la construcción son permanentes, de alta calidad y reciben mantenimiento constante. Los servicios son tanto públicos como hacia el interior de las instalaciones. La ocupación es flotante y existe sólo ocupación permanente a nivel de individuos. Su costo social es limitado porque, aunque representa un símbolo de cultura, su trascendencia se limita, dentro del ámbito social, a sólo parte de la riqueza cultural de la sociedad.

En el uso **recreacional** los materiales usados son permanentes pero no necesariamente de alta calidad. Normalmente la inversión en construcciones es mínima. El costo social es limitado porque los posibles daños afectan a pequeños grupos de usuarios. Los servicios que demanda este uso son públicos, y la población es flotante.

El uso **administrativo** utiliza materiales permanentes de baja calidad (oficinas de gobierno). Los servicios tanto públicos como hacia el interior de las edificaciones son completos. La posible afectación de este uso del suelo tiene un costo social que se limita a la fuente de trabajo y la ocupación humana es semipermanente, en horarios de oficina.

Los **servicios de transporte público** tienen relevancia para la central camionera (c.c.) y centrales secundarias de autobuses y los ferrocarriles (f.). Ambas modalidades de transporte requieren materiales de construcción permanentes de regular calidad; constan de servicios públicos y tienen un costo social extendido. Las diferencias radican en el tipo de ocupación humana. Para el caso de la central camionera, la ocupación es semipermanente y flotante, esto debido a que existe tránsito de pasajeros durante todo el día, y personal encargado de las operaciones de la misma. En los ferrocarriles, y para el caso concreto del área de afectación, el poco personal que supervisa el funcionamiento de este servicio siempre se encuentra en movimiento, por lo que la ocupación se considera flotante.



En el análisis general del valor se le da más peso a la infraestructura no porque sea más importante en términos reales, sino porque se encuentra más expuesta que la población debido a las diferencias de movilidad. Se considera además la trascendencia socioeconómica que podrían representar las pérdidas materiales para un mayor o menor número de personas.

El valor adicional que se podría considerar para la población, en el caso de que el fenómeno perturbador fuera altamente peligroso en agresividad y movilidad, sería el de la densidad de población. Se determinó que, de mayor a menor, la densidad en ocupación permanente del territorio corresponde, primero con la zona habitacional popular, siguiéndole la zona habitacional media, la zona habitacional residencial, la zona comercial, la zona industrial y finalmente la zona de patrimonio cultural.

La apreciación cualitativa antes expuesta es transferida a valoraciones semicuantitativas como se muestra en el siguiente cuadro (Tabla 14).

Tabla 14.- Uso del suelo y valor asociado al área de afectación por fenómenos naturales.

USO DEL SUELO Y VALOR ASOCIADO AL ÁREA DE AFECTACIÓN DEL FENÓMENO														
USO DEL SUELO		VALOR												
		Inversión en infraestructura							Población				Final	
		Material de construcción		Servicios básicos			Costo		perm.	semiper.	flotante			
		perm.		semiper.	púb.	dom.	suma propor.	ind.	soc.					
a	b													
1	Habitacional medio		2		1	2	3	1		3			2.2	M
2	Hab. popular	z.a	2		1	2	3	1		3			2.2	M
		z.m		1	1		1	1		3			1.5	B
3	Hab.residencial	3			1	2	3	1		3			2.5	A
4	Administrativo		2		1	2	3		2		2		2.2	M
5	Recreacional		2		1		1		2			1	1.5	B
6	Serv. Trans.Pub.	c.c.	2		1		1		3		2		1.7	B
		f.	2		1		1		3			1	1.5	B
7	Comercial		2		1	2	3		3		2		2.5	A
8	Industrial		2		1	2	3		2		2		2.2	M
9	Patrimonio cultural	3			1	2	3		2			1	2.2	M

(Palacio, 1995)

- Trazar rutas de evacuación y ubicar los albergues, en zonas donde históricamente no se han registrado tirantes importantes de inundación y difundir



clara y explícitamente su ubicación, antes de contingencias inminentes por la ocurrencia de fenómenos naturales extremos.

- **Prevención de incendios forestales en el área suburbana de Campeche.**

- **Prevención física o de ingeniería.** Conceptos basados en la hoja Web de CONAFOR (http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/incendios/prevencion_y_deteccion.htm)

Actividades de campo que se realizan para el manejo de los combustibles con el fin de reducir su acumulación o modificar su condición, con lo cual se evita la presencia de incendios forestales, estas actividades son: brechas cortafuego, líneas negras, podas, chapeo, aclareos y quemas preescritas, entre otras.

El objeto de realizar estas medidas es la eliminación total o parcial del combustible, así como de romper su continuidad tanto en forma horizontal como en vertical, para evitar que si se inicia un fuego se evite la rápida propagación hacia las áreas forestales.

- **Prevención cultural.**

Acciones para persuadir el comportamiento de la ciudadanía, en general, tratando de que las personas sean más respetuosas, conservadoras y protectoras de los recursos naturales y en especial de los forestales, es decir se trata de hacer conciencia en la población sobre la importancia de los recursos forestales, cómo éstos son perjudicados por el fuego y con qué actitudes y medidas en los bosques se pueden prevenir los incendios forestales.

Entre éstas están las actividades de divulgación, y promoción por medios audiovisuales, impresos y el contacto de persona a persona, para proporcionar a la población rural asistencia técnica en el uso del fuego.

- **Prevención legal.**

Se basa en la aplicación de leyes, reglamentos y normas para la utilización del fuego dentro del territorio nacional. En este caso la Ley Forestal y su Reglamento, La Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como la Norma Oficial Mexicana del Fuego NOM.EM-003-RECNAT-1997, que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, y que establece las especificaciones, criterios y procedimientos para promover y ordenar la participación social y de gobierno en la detección y el combate de los incendios forestales.



■ **Capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno.**

En la actualidad es cada vez más frecuente que se intenten intervenir los mecanismos que generan los fenómenos naturales peligrosos, con el fin de reducir sus efectos destructivos. Sin embargo, en la práctica no se han alcanzado resultados satisfactorios, por lo que en realidad la única opción viable es la preparación para mitigar los efectos destructivos.

■ **Medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno.**

■ **Manejo de aguas y obras de drenaje para el control o mitigación de inundaciones e inestabilidad de laderas.**

- Adecuado manejo de aguas de lluvia tanto a nivel de vivienda como comunitario.
- Abrir zanjias, drenajes alcantarillas y cunetas firmes que permitan el desagüe ordenado de los lomeríos.
- Verificar que las conexiones de aguas servidas (potables) no tengan fugas que provoquen erosión e inestabilidad de laderas.
- No descargar aguas de lluvias sobre laderas y taludes empinados.
- No permitir canteras ni excavaciones que desestabilicen las laderas y se conviertan en un peligro para los vecindarios.
- No hacer banqueo y corte si no se está totalmente seguro de la resistencia de la ladera.
- Para detener la erosión que causa inestabilidad de laderas, realizar surcos en contorno y proteger el terreno sembrando plantas de crecimiento rápido que se extiendan fácilmente.
- Mantener protegidas con pastos o vegetación herbácea de cobertura densa, los desagües sobre depresiones naturales (sumideros) o construidas. En terrenos de origen kárstico, como los de la ciudad de Campeche, es común encontrar, puntualmente, sumideros o depresiones con colapsos de roca parciales o totales.



Para mitigar inundaciones es recomendable no taparlas y si más bien estabilizarlas y mantenerlas como zonas de uso recreativo o sin uso aparente.

- Prácticas vegetativas para reducir la erosión, el volumen y la energía cinética del agua. La práctica más recomendada es la de cultivos en fajas sobre terrenos entre el 3 y 15% de pendiente, de anchura variable, alternado espacios abiertos (impermeables y semipermeables) con franjas cubiertas de vegetación herbácea baja (pastos). Evita hasta en un 60% la erosión en terrenos de pendiente moderada y cuando se combinan con algún tipo de terrazas se puede reducir hasta en un 90%.
- Prácticas mecánicas de surcado en contorno. Consiste en el trazado de surcos perpendiculares a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas de nivel. El agua que no se infiltra queda impedida en su escurrimiento. Esta práctica es recomendable para pendientes debajo de 5% de pendiente, cuando esta se rebasa, se deben complementar con otras prácticas mecánicas como las terrazas. El diseño topográfico y de ingeniería dependerá de la inclinación del terreno, el coeficiente de escurrimiento y la fórmula de Manning, por ladera.
- Las nuevas regulaciones para la construcción deberán contemplar, no solo el emplazamiento específico de las nuevas edificaciones, sino su entorno ambiental inmediato, identificando el comportamiento local de las amenazas o peligros naturales, según el Atlas de Peligros Natural. En el caso de inundaciones identificar si el nuevo asentamiento se encuentra en una planicie baja acumulativa cóncava o convexa de pendientes subhorizontales, o si se encuentra sobre declives transicionales o lomeríos. Como dato asociado caracterizar los promedios de infiltración actuales sin construcción, según el tipo de cobertura del suelo, e inferir su sustitución proporcional por superficies impermeables. En el entorno de la unidad del terreno proyectado para construir ubicar punto de confluencia y cauces revestidos de probable incidencia para determinar si existe un probable excedente de agua que provoque inundaciones súbitas. Tratar de mantener, en lo posible, los promedios propios de escorrentía e infiltración del medio natural, de un 10% y un 50% respectivamente.

▪ **Mitigación de los efectos de marea de tormenta.**

- Crear una de una playa artificial frente a la ciudad de Campeche, la cual cumpliría con objetivos de protección y de desarrollo turístico y recreacional para la



ciudad. Incluyendo el diseño de estructuras para garantizar la estabilidad futura de las playas ante la ocurrencia de eventos extremos promedio.

- Contar con desagües naturales o artificiales a cielo abierto, que permitan una rápida evacuación del agua, cuando el nivel de la marea de tormenta rebasa el nivel del malecón.
- Realizar modificaciones al reglamento de construcciones, con la finalidad de que los nuevos asentamientos cumplan con ciertas condiciones de seguridad, para minimizar los daños producidos por una inundación. Las nuevas regulaciones deberán contemplar, no solo el emplazamiento específico de las construcciones, sino su entorno ambiental inmediato, identificando el comportamiento local de las amenazas o peligros naturales. Para la marea de tormenta, considerar al menos la cota de 3.5 m (periodo de recurrencia de 84 años), sobre el nivel medio del mar, para regular la densidad y la altura relativa de las construcciones, evitando siempre convertirlas en diques artificiales que obstruyan el desagüe de las áreas de reflujos de tormenta y esorrentía cuando baja el nivel del mar. Las nuevas normas para autorizar construcciones deberían incluir un dictamen de: “Valoración relativa de peligro real o potencial por fenómenos naturales”.
- Hacer del conocimiento común de la gente (prevención cultural) por barrios o colonias, la importancia del peligro (alto medio y bajo), según la intensidad probable del fenómeno o evento natural peligroso.



Referencias bibliográficas

- Ambalagan R., 1992. "Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain". Proceedings of the sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, pp. 861-871.
- Andrew Goudie, 1983. The Human Impact, on the Natural Environment. Edition Oxford, The Milt Press Massachusetts.
- Bautista, G. & Silva, R. (2005), Quadtree meshes for storm surge forecasting. Ocean Wave Measurement and Analysis. American Society of Civil Engineering, pp 10.
- Benqué, J.P., Cunge, J.A. & Feuillet, J., (1982), New method for tidal current computation. Journal of the Waterway.
- Blom, G, Nearly best linear estimates of locations and scale parameters. SG, 1962: p 34-46.
- Bolaños, R. (2004). Tormentas de oleaje en el Mediterráneo: física y predicción. Tesis de Doctorado. Laboratori d'Enginyeria Marítima Universitat Politècnica de Catalunya, 239 pp.
- Bormann, F. H., Likens, G. E., 1994. Pattern and Process in a Forested Sistem. Edit, Springer, New York.
- Bretschneider, CL (1990), Tropical Cyclones, Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Gulf Publishing Co, 249-370.
- Burton y Kates, 1964. The perception of natural hazards in resource management. Natural Resources Journal. No. 3 (3).pp. 412-441.
- Calvo García-Tornel, Francisco, 1984. La Geografía de los riesgos. Geocrítica 54. Noviembre. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 39p.
- Campos Aranda, D.F., 1987. Procesos del ciclo Hidrológico. Vol. 1 tomo 1 y 2. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Castanedo, B., S., (2000), Desarrollo de un modelo hidrodinámico tridimensional para el estudio de la propagación de ondas largas en estuarios y zonas someras. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria. Pp 7-11 – 7-15.
- Castillo, E, Extreme value theory in engineering. Statistical modeling and decision science 1987, San Diego, California: Academic Press, Inc 389.
- CENAPRED, 2004. "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.
- Chávez Cortés y Trigo Boix N., 1996. Programa de Manejo para el Parque Nacional Izta-Popo. UAM-X.
- CNA, Gerencia Estatal Campeche, 2004. Precipitación máxima en un periodo de una hora (1970 -2004): Observatorio Meteorológico de Campeche.



- Cortés, Ortiz, A. y Chuvieco Salinero, E., 2005. "Cartografía de tipos de combustible en una región de Durango, México, mediante imágenes de satélite", *GeoFocus* 5, n° 5, p. 129-155. ISSN: 1578-5157.
- Fournier E. M., 1979. Objectives of volcanic monitoring and prediction. En: Journal of Geology Society. Vol. 136. London, Great Britain. pp. 321-326.
- Gelci, R., Cazalé, H. & Vassal, J. (1957). Prévission de la houle. La méthode des densités spectroangulaires. *Bull. Infor. Comité Central Oceanogr. d'Etude Cotes* 9: 416-435 pp.
- Godunov S. K (1959) A difference method for numerical computation of discontinuous solutions of hydrodynamics equations, *Matematichesski Sbornik*, 47 , pp 357-393 (in Russian).
- Gordon, D. N., Mc Mahon, A.T. Yfinlaison, L. B., 1992. Stream hidrology: An Introduction for Ecologist. Jhon Wiley & Sons.
- Grases G., J. (1994). Terremotos destructores del Caribe 1502-1990. Publ. RELACIS – Red Latinoamericana y del Caribe de Centros de Ingeniería Sísmica y UNESCO (Oficina Regional de Ciencia y Tecnología, Montevideo, 132 p.
- Gregory K. J. and D. Walling, 1979. Drainage Basin Form and Process. A Geomorphological Approach. By Edwar Arnold Publishers.
- Hasselmann, K. (1960). Grundgleichungen der Seegangsvoraussage. *Shiffstechnik* 7: 191-195 pp.
- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bonws, E., Carlson H., Cartwright, D. C., Enke, K., Ewing, J., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Muller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W. & Walden, H. (1973). Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutesches Hydrographisches Institut: Hamburg*. 95 pp.
- Hazen, A, Flood flows, a study of requencias and magnitudes 1930, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Hernán Contreras M., Cordero Velásquez, A., 1994. Ambiente desarrollo Sustentable y Calidad de Vida, Caracas Venezuela.
- Hernández, 1989. Experiencias en la aplicación del control de la erosión torrencial en una microcuenca andina. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Hernández, 1993. Monitoreo y Evaluación de logros en Proyecto de Ordenación de cuencas Hidrográficas Medidas y Practicas para el tratamiento de pendientes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Holland, GL, An analytical model of wind and pressure profiles in hurricanes *Monthly Weather Review*, 1980 108: p 1212-1218.
- Holz, K. P., Nitsche, G., (1982), Tidal wave análisis for estuaries with intertidal flats. *Adv. Water Resour.* 5, 142-148.



- INEGI, 1996. Herramientas para el geoposicionamiento; Introducción a los Sistemas de Información Geografica.
- Jassen, P.A.E.M. (1991). Quasi-Linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting. *J. Phys. Oceanogr.* 21: 1631-1642 pp.
- Johnston Jerry, J. and Weigel Dale R. 1997. Satellite remote Sensing; An inexpensive tool for pine plantation Management. *Journal of Forestry.*
- Kimball, B.F., On the choice of plotting positions on probability paper. *J. Amer. Statist. Assc.*, 1960. 55: p. 546-560.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, Janssen, P.A.E.M. (1994). *Dynamics and Modelling of Ocean Waves.* Cambridge University Press, 532 pp.
- Lander, J.F., P. A. Lockridge ,1989, United States Tsunamis (Including United States Possessions) 1690-1988. US Department of Commerce, Nat. Geophys. Data Center, Publication 41-2.
- López-Ramos, Ernesto, 1973. Estudio geológico de la península de Yucatán: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. 25, p 76.
- Lugo Hubp , Aceves Quesada, y Espinasa-Pereña, 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la península de Yucatán. *Revista del Instituto de Geología.* Vol. 10:2, 143-150.
- Massel, S.R. (1996). *Ocean surface waves: Their physics and predictions, Advanced Series on Coastal Engineering –Vol 11, World Scientific, 491 pp.*
- Miles, J. W. (1957). On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics* 3: 185-204 pp.
- Palacio Aponte A., P. Salles Afonso de Almeida, R. Silva Casarin, E. Gustavo Bautista Godínez, G. Posada Vanegas y R. Val Segura, 2005. Diagnóstico de Riesgo por Inundación para la Ciudad de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, H. Ayuntamiento del Municipio de Campeche. 109 p.
- Palacio Aponte A.G. ,1995. “Ensayo Metodológico Geosistémico para el Estudio de los Riesgos Naturales”. Tesis de Maestría. División de estudios de posgrado. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México, D.F. 119 p.
- Panniza Mario. 1991. Geomorphology and seismic risk. *En: Earth-Science Reviews*, 31. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. pp. 11-20.
- Phillips, O.M. (1957). On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics* 2: 417-455 pp.
- Pritchett William, L., 1986. *Suelos forestales, propiedades conservación y mejoramiento.* edit. Limusa, México.
- Rogers, B., Fujihara, M. & Borthwick, A.G.L., (2001). Adaptive Q-Tree Godunov-Type Scheme for the Shallow Water Equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids.* 35: 247-280.
- Sanchez, C., Silva, R., Govaere, G. & Contreras, A. Comparison of 4 wave prediction models. in 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. 1998. Merburne, Florida.



- SEDESO, 1994. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas Áridas, FAO. Saltillo Coahuila.
- Silva, R. (2005), Análisis y descripción estadística del oleaje. Instituto de Ingeniería. Instituto de Ingeniería, UNAM, México. ISBN 970-32-2813-5. SD/49, 177 pp.
- Silva, R., Díaz, G., Contreras, A., Bautista, G. & Sánchez, C. Determination of Oceanographic Risks from Hurricanes on the Mexican Coast. in 6th International Workshop on wave hindcasting and forecasting. 2000. Monterey, California.
- Silva, R., Govaere, G., Salles, P., Bautista, G. & Díaz, G. Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. in International Conference on Coastal Engineering. 2002. Cardiff, Wales: ASCE.
- Simpson, R.H. 1971. A proposed scale for ranking hurricanes by intensity. Minutes of the Eighth National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service Hurricane Conference.
- Susilawiri, S. and Weir, M.J. 1990-93. GIS Application in forest land management in Indonesia, In forest Management. ITC Journal .
- Sverdrup, H.U. & Munk, W.H., Wind, sea and swell: theory of relation for forecasting. 1947, U.S. Navy Hydrographic Office Publication. p. 44.
- Turner, B.A. 1976. The development of disasters: a sequence model for the analysis of the origin of disasters. The Sociological Review 24(4), pp. 753-774.
- UNDRO. 1979. "Natural disasters and vulnerability analysis". Report of experts group meeting. Geneva.
- Valverde Carmen, García Amaral Ma. Luisa, Tamayo de Ham Luz Ma. 1990. Metodologías para analizar la vivienda en relación con la desigualdad social. En: Investigaciones Geográficas, boletín del Instituto de Geografía. No. 21. UNAM. pp. 113-123.
- Verstappen Herman Th., 1992. Requerimientos de la información temática en la concientización de amenazas naturales y la mitigación de riesgos. En: 1er Simposio internacional sobre sensores remotos y sistemas de información geográfica para el estudio de los riesgos naturales, Bogotá, Colombia. 14 p.
- Ward Peter, 1976. In search of a home: social and economics characteristics of squatter settlements and the role of self-help housing in Mexico. Tesis profesional de doctorado, Universidad de Liverpool. Gran Bretaña.
- Waring, R.H., Schlesinger, W.H., 1985. Forest Ecosystems: Concepts and Management Academic Press, Orlando, Florida. 340 p.