



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS COSTAS MEXICANAS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

CESIA JAQUELINE CRUZ RAMÍREZ

TUTOR PRINCIPAL

DR. EDGAR G. MENDOZA BALDWIN, INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. ESCALANTE SANDOVAL CARLOS A.
Secretario: DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN
Vocal: DR. MENDOZA BALDWIN EDGAR GERARDO
1^{er}. Suplente: DR. SILVA CASARÍN RODOLFO
2^{do}. Suplente: DRA. REYES CHÁVEZ LILIA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, C.P. 04510
México, Distrito Federal
MÉXICO

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN

FIRMA

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios quién ha guiado mis pasos y mi vida, a mi madre Patricia Ramírez y hermanos Josué Michel y Daniel Franck, por su apoyo incondicional y consejos que me alientan a seguir enforzándome.

Al Doctor Rodolfo Silva y Edgar Mendoza les agradezco por brindarme la oportunidad de ser parte del Grupo de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería, así como por todo su apoyo durante estos 4 años y por su colaboración en la realización de esta tesis de maestría.

A CONACYT por el apoyo económico prestado para culminar esta etapa de mis estudios, así como también al Instituto de Ingeniería y a la UNAM.

Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos del grupo de Costas y Puertos, especialmente a Alejandro Ruíz, Regina, Mireille, Gerardo Durán, Carlos Alberto y Xavier Chavéz, por su convivencia, sus enseñanzas y el tiempo con cada uno de ellos, permitiendo que mi paso por este instituto estuviera lleno de alegría, motivación, trabajo, empeño y cariño.

RESUMEN

La evaluación de la vulnerabilidad de un elemento que es susceptible de sufrir un grado de daño ocasionado por la intensidad de una amenaza natural, conlleva a profundizar el estudio de las características propias del elemento, que pueden aumentar o disminuir su capacidad de resistir, adaptarse y recuperarse luego de la ocurrencia de un evento de peligro. Los elementos expuestos pueden ser el medio físico o natural, la población, la infraestructura, la flora, la fauna, la vivienda, etc. En particular las costas son sistemas dinámicos en los que se concentran elementos que poseen gran valor económico, social y ambiental, las cuales ofrecen muchos beneficios, tales como el turismo y actividades económicas como la pesca, acuicultura y otros, por ello se convierten en elementos cuya vulnerabilidad puede ser considerable.

En décadas recientes, las amenazas causadas por fenómenos naturales han ocasionado grandes daños en los elementos expuestos a ellos. Terremotos, erupción de volcanes, tsunamis, huracanes, incendios forestales, inundaciones, deslizamientos de tierras y sequías se encuentran entre este tipo de fenómenos. Entre 1970 y 2009, aproximadamente 60 millones de personas se vieron afectadas por los desastres naturales en México (UNISDR, 2011). Por tal motivo en este trabajo se presenta una nueva metodología para evaluar la vulnerabilidad de la población, por medio de índices generados a partir de la valoración de porcentajes de daños históricos que demuestran el nivel de protección que ofrecieron las variables sociales y ecológicas a estos elementos. A dichas variables se les asignó un peso que representa el grado de protección que proporcionan al elemento. Las variables sociales consideradas para evaluar la vulnerabilidad de la población fueron: densidad de población, infraestructura, material de vivienda, la presencia de estructuras de protección artificial, entre otras y las ecológicas son: vegetación, manglar, arrecifes de coral, dunas costeras, tipo de costa, humedales.

Los datos utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad se obtuvieron de dependencias gubernamentales tales como INEGI, SEMARNAT, CONABIO, entre otras. A partir del análisis de estos datos se definieron y caracterizaron 2632 compartimentos litorales de acuerdo con el tipo de costa (arena, grava o acantilado) o un cambio brusco de la línea de costa; y se generaron mapas del grado de vulnerabilidad de 1109 poblaciones que se encuentran en una franja de 5 km tierra adentro.

Contenido

RESUMEN	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Organización del Trabajo	1
1.2 Motivación	2
1.3 Hipótesis de trabajo	2
1.4 Objetivo general	3
1.5 Objetivos específicos	3
Capítulo 2. Marco teórico	4
2.1 Litoral de la República Mexicana	4
2.2 Población costera de la República Mexicana	7
2.3 Compartimento litoral	8
2.4 Vulnerabilidad	9
Capítulo 3. Estado del arte	11
3.1 Estudios de vulnerabilidad	11
3.1.1 Vulnerabilidad de la población	11
3.1.2 Vulnerabilidad costera	11
Capítulo 4. Metodología para evaluar la vulnerabilidad de la costa y población de la República Mexicana	16
4.1 Área de estudio	16
4.2 Definición de variables	17
4.3 Caracterización y creación de la base de datos	22
4.4 Definición de compartimentos litorales mediante la utilización de imágenes satelitales	27
4.5 Grado de importancia de cada variable	29
4.6 Valor de los índices de cada variable con base en los datos de daños históricos	35
4.7 Cálculo del índice de vulnerabilidad de la población y la costa mexicana	52

Capítulo 5. Análisis y resultados	54
5.1.1 Mapas de índices de vulnerabilidad de población costera	54
5.2 Grados de vulnerabilidad de la población y la costa mexicana.	65
5.3 Identificación de sitios prioritarios por compartimento litoral, municipio y estado ...	66
5.4 Análisis de estudio de vulnerabilidad a nivel local en el Océano Pacífico, Golfo de México y Caribe.....	77
Capítulo 6. Conclusiones y futuras líneas de investigación	86
Referencias	88
ANEXO 1	94
ANEXO 2	102
ANEXO 3	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estados costeros de la República Mexicana.....	16
Figura 2a Esquema de variables de la población para evaluar la vulnerabilidad.....	18
Figura 3 Archivo shape de distancias desde la costa.....	23
Figura 4 Estructuras de protección artificial en puerto Paraíso, Tabasco.....	24
Figura 5 Compartimentos delimitadas por la desembocadura de ríos.....	27
Figura 6 Compartimentos delimitados por el tipo de costa, la presencia de estructuras de protección artificial y la desembocadura de un río.....	28
Figura 7 Compartimentos litorales delimitados por cambios bruscos en la línea de costa.....	28
Figura 8 Compartimentos definidos de acuerdo al tipo de costa.....	29
Figura 9 Alternativas para la planificación espacial de la zona costera dominada por costa de fango (a) y la playa de arena (b) (BPPT, 2005).....	32
Figura 10 Distribución porcentual de la elevación de la población costera mexicana.....	54
Figura 11 Población por estado localizada en alturas menores a 10 m.....	55
Figura 12 Distribución porcentual de la distancia de población costera mexicana.....	56
Figura 13 Distribución porcentual de la densidad de población costera mexicana.....	58
Figura 14 Distribución porcentual del tipo de infraestructura de la población costera mexicana.....	58
Figura 15 Distribución porcentual del material de vivienda de la población costera mexicana.....	60
Figura 16 Distribución porcentual de la altura de duna en la población costera mexicana.....	60
Figura 17 Distribución porcentual de la presencia de duna en la población costera mexicana.....	61
Figura 18 Distribución porcentual del tipo de costa en la población costera mexicana.....	62
Figura 19 Distribución porcentual de la protección artificial en la población costera mexicana.....	63
Figura 20 Distribución porcentual de la presencia de manglar en la población costera mexicana.....	63
Figura 21 Distribución porcentual de la presencia de vegetación en la población costera mexicana.....	64
Figura 22 Distribución porcentual de los arrecifes de coral en la población costera mexicana.....	65
Figura 23 Vulnerabilidad de la población costera mexicana.....	66
Figura 24 Compartimentos litorales de acuerdo al tipo de costa en la República Mexicana.....	68
Figura 25 Caracterización del tipo de costa en México por el Instituto de Geografía.....	68
Figura 26 Vulnerabilidad de la población de Baja California.....	69
Figura 27 Vulnerabilidad de la población a nivel municipal.....	70

Figura 28 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.	70
Figura 29 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.	71
Figura 30 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.	71
Figura 31 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.	72
Figura 32 Vulnerabilidad de la población de Tabasco	72
Figura 33 Vulnerabilidad de la población a nivel municipio.	73
Figura 34 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.	73
Figura 35 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Cárdenas, Tabasco.	74
Figura 36 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Paraíso, Tabasco.	74
Figura 37 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Centla, Tabasco.	75
Figura 38 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población a nivel municipal.	76
Figura 39 Distribución del índice de vulnerabilidad de población a nivel estatal.	76
Figura 40 Promedio del índice de vulnerabilidad de la población a nivel estado.	77
Figura 41 Ubicación y características de la localidad Primer campo pesquero, Matamoros, Tamaulipas.	77
Figura 42 Ubicación y características de la localidad Playa de Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz.	78
Figura 43 Ubicación y características de la localidad Chuburná, Progreso, Yucatán.	79
Figura 44 Ubicación y características de la localidad Puerto Morelos, Benito Juárez, Quintana Roo.	79
Figura 45 Ubicación y características de la localidad El morro kilómetro treinta y ocho, Playa de rosarito, Baja California.	81
Figura 46 Ubicación y características de la localidad Cabo San Lucas, Los Cabos, Baja California Sur.	81
Figura 47 Ubicación y características de la localidad Desemboque, Caborca, Sonora.	82
Figura 48 Ubicación y características de la localidad Manzanillo, Manzanillo, Colima. ...	82
Figura 49 Ubicación y características de la localidad Minitán, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Extensión de los litorales nacionales y número de municipios costeros por entidad federativa.	4
Tabla 2 Extensión territorial de las 39 islas más grandes de México.	5
Tabla 3 Caracterización de la línea de costa mexicana (Ortiz y de la Lanza, 2006)	5
Tabla 4 Litoral de la vertiente del océano Pacífico mexicano (Ortiz y de la Lanza, 2006). ..	6
Tabla 5 Litoral de la costa del Golfo de México y Mar Caribe (Ortiz y de la Lanza, 2006). 6	
Tabla 6 Bases de datos de instituciones gubernamentales.	22
Tabla 7 Base de datos de la población costera mexicana en Excel.	26
Tabla 8 Propuestas de jerarquía de variables	30
Tabla 9 Porcentajes de daño en cada propuesta.....	34
Tabla 10 Patrones de daños de construcción.	38
Tabla 11 Daños en vivienda de acuerdo al material de construcción.	38
Tabla 12 Índices de vulnerabilidad para material de vivienda.	39
Tabla 13 Viviendas afectadas en el municipio de Cozumel por el huracán Wilma, 2005. .	39
Tabla 14 Porcentajes de daños en viviendas por el huracán Kenna, 2002 y Wilma, 2005. 40	
Tabla 15 Índices de vulnerabilidad para una población con protección natural (duna).	40
Tabla 16 Daños ocasionados a la población en relación a la altura de duna.	42
Tabla 17 Índices de altura de duna de acuerdo a los daños presentados por el tsunami del 2004.	42
Tabla 18 Daños a la población de acuerdo al tipo de infraestructura (Frente frío número 4).	42
Tabla 19 Índice de vulnerabilidad de la población de acuerdo a su infraestructura.	43
Tabla 20 Nivel de daño de acuerdo a la tipología de la costa.....	43
Tabla 21 Índices de vulnerabilidad de acuerdo al tipo de costa.	43
Tabla 22 Pérdidas económicas de 18 aldeas de la costa de Parangipettai, estado de Tamil, Nadu, India (Tsunami, 2004).	44
Tabla 23 Porcentaje de pérdidas en las aldeas de pescadores de acuerdo a su distancia obtenida a partir de la Tabla 22.	45
Tabla 24 Índice de vulnerabilidad de la población de acuerdo a su distancia a partir de la línea de costa.	45
Tabla 25 Porcentaje de pérdidas en las aldeas de pescadores de acuerdo a su altitud.	45
Tabla 26 Índices de vulnerabilidad de la población para la variable cota de elevación.	46
Tabla 27 Porcentajes de pérdidas en las aldeas de pescadores, considerando la protección natural del manglar.	47
Tabla 28 Porcentaje de pérdidas ocasionadas por el tsunami del 2004 en las 18 aldeas de pescadores, ante la presencia o ausencia del manglar.	48
Tabla 29 Índices de vulnerabilidad de la población ante la presencia o ausencia de manglar.	48

Tabla 30 Índices de vulnerabilidad de la población ante la presencia o ausencia de arrecifes de coral.....	49
Tabla 31 Índices de vulnerabilidad ante la presencia o ausencia de vegetación.	50
Tabla 32 Índice de vulnerabilidad de la variable protección artificial.	51
Tabla 33 Pérdidas humanas a causa de huracanes de categoría 4.	52
Tabla 34 Índice de vulnerabilidad de acuerdo a la variable densidad de población.	52
Tabla 35 Variables de la población.....	53
Tabla 36 Población por estado localizada en alturas menores a 10 m.	55
Tabla 37 Superficie total a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.	56
Tabla 38 Superficie por estado a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.	57
Tabla 39 Densidad de población por estado.	59
Tabla 40 Niveles de vulnerabilidad	65
Tabla 41 Estadística del tipo de costa en la República Mexicana	66
Tabla 42 Base de datos de la caracterización por tipo de costa.	67
Tabla 43 Características de las localidades ubicadas en el Golfo de México para evaluar el índice de vulnerabilidad de la población.	80
Tabla 44 Valor de los índices de vulnerabilidad de las localidades costeras del Golfo de México.	80
Tabla 45 Características de las localidades ubicadas en el Golfo de México para evaluar el índice de vulnerabilidad de la población.	84
Tabla 46 Valor de los índices de vulnerabilidad de las localidades costeras del Pacífico Mexicano.	84
Tabla 47 Grado de vulnerabilidad de las localidades costeras mexicanas analizadas en este apartado.....	85

Capítulo 1. Introducción

La localización geográfica de México implica que su territorio está expuesto a peligros hidro-meteorológicos severos, tales como huracanes, tsunamis, frentes fríos y mareas de tormenta, que ocasionan frecuentes inundaciones, erosiones, deslaves y otros efectos tanto al medio natural como a la infraestructura y que potencialmente se pueden convertir en grandes desastres cuyos costos en vidas humanas y económicos pueden ser muy altos.

La costa mexicana, como la de todo el planeta, es un sistema dinámico donde confluyen presiones antrópicas y fenómenos naturales, lo que incrementa la vulnerabilidad de los elementos que en ella se ubican cómo son el sistema playa-duna y los asentamientos humanos.

La vulnerabilidad se puede definir como la susceptibilidad que tiene un elemento a sufrir un daño. El nivel de daño que puede sufrir un elemento, dada una amenaza y tomando como base las características que posee, permiten jerarquizar las causas que provocan que dicho elemento sea más o menos vulnerable.

En este sentido, en el presente trabajo se realiza una evaluación de la vulnerabilidad de las poblaciones costeras mexicanas y se normaliza por medio de un índice que está conformado por la suma ponderada de los niveles de daño a los elementos en riesgo en función de sus características intrínsecas. El índice obtenido, dada su homogeneidad, permite la construcción de un mapa de vulnerabilidad costera nacional.

1.1 Organización del Trabajo

En este primer capítulo se presenta una introducción del trabajo que se desarrolla en esta tesis y la motivación que describe la causa y necesidad de este estudio, así como la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos de esta investigación.

En el capítulo 2 se presentan las definiciones de los conceptos utilizados en los capítulos posteriores, que son fundamentales para entender el desarrollo de este trabajo.

El capítulo 3 se refiere al análisis de las investigaciones y antecedentes en general, que se han realizado acerca de la evaluación de la vulnerabilidad costera y de la población, que finalmente respaldan este trabajo de investigación.

En el capítulo 4 se describe la metodología que se utilizó para evaluar la vulnerabilidad de la población costera, profundizando en la definición de variables y compartimentos litorales, la creación de la base de datos, el peso de las variables que conforman los índices generales y por último obtener el índice de vulnerabilidad.

En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos, que son presentados a través de un sistema de mapas, que muestran gráficamente el grado de vulnerabilidad en la población

costera mexicana del Pacífico y del Atlántico por compartimento litoral, municipio y estado.

El capítulo 6 presenta las conclusiones y recomendaciones viables para continuar la línea de investigación de este trabajo.

1.2 Motivación

México está clasificado como uno de los 30 países del mundo expuesto a 3 o más peligros naturales (Banco Mundial, 2005) citado en (Torres et al., 2014), donde aproximadamente el 45 % del territorio es afectado por tormentas, huracanes e inundaciones (Torres et al., 2014).

Un porcentaje considerable de la población mundial vive sobre o muy cerca de las franjas costeras (Forbes y Liverman, 1996), esto implica una exposición directa de la infraestructura, la población y las actividades económicas que se desarrollan en ese entorno. En México el 15 % de la población habita la zona costera (INEGI, 2001) citado en (Silva et al., 2014b), donde algunas localidades presentan las mayores tasas de crecimiento poblacional (2.8 % en promedio) (Lara, 2008). México es uno de los tres primeros países de América Latina con la población más vulnerable localizada en zonas de baja elevación, y se prevé que entre 2010 y 2100, el país experimentará un crecimiento del 30 % en su población costera (Silva et al., 2014a).

Gracias al turismo, principalmente, las playas de México representan grandes fuentes de generación de recursos económicos. Sin embargo, cuando estas playas son impactadas por actividades antrópicas más allá de un nivel sostenible, comienza un deterioro de los ecosistemas naturales que incrementa la susceptibilidad de sufrir cualquier tipo de daño por eventos extremos; y como consecuencia al disminuir su valor ecológico, también se pierde el interés turístico, ocasionando un déficit monetario y un mayor deterioro de ecosistemas con el paso del tiempo, es decir, el proceso se puede convertir en un círculo decadente. De ahí la importancia de evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones costeras mexicanas, ya que al conocer la ubicación y el grado de vulnerabilidad de los asentamientos se puede favorecer la correcta planeación de crecimiento, actividades y desarrollo de cada uno de ellos disminuyendo así la probabilidad de daños, pérdidas y riesgo en general.

1.3 Hipótesis de trabajo

El grado o nivel de daño que puede sufrir un elemento cuando está sometido a una amenaza, es función de las características que posee, lo cual permite comprender, evaluar y jerarquizar los factores que magnifican o intensifican los efectos de las amenazas naturales y provocan favorecer el incremento o disminución de la vulnerabilidad de dicho elemento.

1.4 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones costeras mexicanas por medio de un índice que depende de las características intrínsecas tanto de los elementos en riesgo como de los posibles factores de reducción o incremento de las consecuencias de una amenaza.

1.5 Objetivos específicos

- Comprender la interacción entre los elementos que hacen frente a un fenómeno natural costero, las cuales pueden ser de carácter socioeconómico, antropológico, ecológico y morfológico.
- Definir compartimentos litorales en toda la costa mexicana, atendiendo al tipo de costa del litoral y a otras características morfológicas como desembocaduras de ríos o cambios bruscos en la alineación de la costa (puntas, promontorios, etc.).
- Identificar y seleccionar las variables que contribuyen a aumentar o disminuir el grado de vulnerabilidad de la población costera ante eventos extremos.
- Caracterizar, a partir de información e imágenes satelitales, las variables seleccionadas para evaluar la vulnerabilidad de la población costera mexicana.
- Obtener estadísticas, a partir de la caracterización del litoral, de las variables de la población costera mexicana.
- Construir índices particulares para cada variable a partir de datos de daños históricos.
- Evaluar el peso de las variables en orden descendente de acuerdo con la importancia e influencia que tiene cada una al aumentar o disminuir la vulnerabilidad propia de la población costera.
- Calcular los índices de vulnerabilidad generales para la población costera mexicana a partir de la suma ponderada de los índices particulares.
- Ubicar, a nivel de compartimento litoral y localidad costera, las zonas del país más vulnerables a eventos extremos a partir de los índices calculados, así como también en una escala municipal y estatal.
- Obtener los porcentajes de población a nivel nacional que presentan vulnerabilidad baja, media y alta ante las amenazas naturales.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Litoral de la República Mexicana

México tiene 17 entidades federativas con frente litoral costero, un total de 150 municipios con frente de mar y 113 municipios con influencia costera. Sin incluir litorales insulares, la longitud de la línea de costa de dichos estados suma aproximadamente 11100 km, de los cuales 7800 km corresponden a estados que tienen salida al Océano Pacífico y Golfo de California y 3300 km de línea de costa, colindan con el Golfo de México y Mar Caribe (INEGI, 2000).

Como datos oficiales, en la Tabla 1 se muestran las zonas marinas mexicanas, de acuerdo con la Ley Federal del Mar (1986).

Tabla 1 Extensión de los litorales nacionales y número de municipios costeros por entidad federativa.

Entidad Federativa	Longitud de litoral continental (1)		Longitud de litoral continental (2)		Número de municipios costeros
	(km)	(%)	(km)	(%)	
Océano Pacífico	8475.06	73.11%	7828	70.38%	88
Baja California	1555.23	13.42%	1493	13.42%	4
Baja California Sur	2705.39	23.34%	2131	19.16%	5
Sonora	1207.81	10.42%	1209	10.87%	13
Sinaloa	640.17	5.52%	622	5.59%	10
Nayarit	300.41	2.59%	296	2.66%	5
Jalisco	341.93	2.95%	351	3.16%	5
Colima	139.22	1.20%	142	1.28%	3
Michoacán	246.76	2.13%	228	2.05%	3
Guerrero	484.94	4.18%	522	4.69%	12
Oaxaca	597.51	5.15%	568	5.11%	20
Chiapas	255.69	2.21%	266	2.39%	8
Golfo de México y Mar Caribe	3117.71	26.89%	3298	29.62%	62
Tamaulipas	457.72	3.95%	433	3.89%	6
Veracruz	745.14	6.43%	720	6.47%	25
Tabasco	183.86	1.59%	200	1.80%	3
Campeche	523.3	4.51%	425	3.82%	6
Yucatán	342.47	2.95%	340	3.06%	13
Quintana Roo	865.22	7.46%	1176	10.57%	9
Total Nacional	11592.77	100.00%	11122	100.00%	150

(1) Datos del anuario estadístico por Entidad Federativa (2005).

(2) Datos obtenidos de la página electrónica <http://cuentame.inegi.org.mx/>

La Tabla 2 muestra la extensión territorial de las 39 islas más grandes de México que también fueron incluidas en esta investigación.

Tabla 2 Extensión territorial de las 39 islas más grandes de México.

	Nombre de la isla	Extensión (km ²)		Nombre de la isla	Extensión (km ²)
1	Tiburón	120093	21	María Cleofas	19.82
2	Ángel de la Guarda	93143	22	Clarión	19.67
3	Cozumel	47786	23	Montserrat	19.04
4	Cedros	34830	24	El Pelicano	16.01
5	Arrecife Alacrán	32572	25	La Partida	15.5
6	Guadalupe	243.99	26	Santa Cruz	12.9
7	San José	182.96	27	Tortuga	11.37
8	Del Carmen	153	28	Arrecife El Cabezo	10.37
9	Carmen	145.94	29	San Juanito	9.11
10	María Madre	145.28	30	Natividad	8.66
11	Cerralvo	136.5	31	Coronado	8.39
12	Montague	132.78	32	Coronados	7.21
13	Socorro	131.86	33	Cayo Centro	6.14
14	Espíritu Santo	80.76	34	San Benedicto	6.12
15	María Magdalena	70.44	35	San Luis	6.05
16	Holbox	55.95	36	Sal Medina	5.33
17	San Esteban	39.77	37	Mujeres	4.22
18	Santa Catalina	39.27	38	Danzante	4.15
19	San Lorenzo	32.06	39	Las Ánimas	4.01
20	San Marcos	28.75			

Tabla 3 Caracterización de la línea de costa mexicana (Ortiz y de la Lanza, 2006)

Clasificación de la línea de costa de México	Tipo de costa
Costa frontal - 43.62% (10544.45 km)	Costas de arenas (arenas y gravas) - 75.73% (7984.66 km)
	Costas rocosas (acantilados y terrazas) - 22.38% (2359.79 km)
	Bocas de lagunas - 1.89% (199.61 km)
Costa interior o de aguas protegidas - 45.11% (10697.94 km)	Barras interiores - 37.56% (4017.72 km)
	Costa interior - 62.44% (6680.21 km)
Línea de costa de islas mexicanas - 11.27% (2673.12 km)	

Ortiz y de la Lanza, 2006, realizaron una caracterización de las zonas costeras y marinas mexicanas considerando de manera diferenciada la línea de costa directamente expuesta a la zona marina, la interior o de aguas protegidas y las insulares. Sin considerar la anchura de las bocas lagunares (0.84 %) definieron que México cuenta con 23715 km de línea de costa. En la Tabla 3 Caracterización de la línea de costa mexicana se muestra la clasificación de la línea de costa mexicana, donde se incluye el tipo de costa y su extensión en kilómetros.

La Tabla 4 muestra la clasificación del litoral de la vertiente del océano Pacífico mexicano.

Tabla 4 Litoral de la vertiente del océano Pacífico mexicano (Ortiz y de la Lanza, 2006).

Clasificación de la línea de costa	Tipo de costa
Expuesta al mar abierto (7775.2 km)	Playas de arena - 69.769% (5424.6 km)
	Costas rocosas - 28.466% (2213.3 km)
	Anchuras de bocanas - 1.765% (137.2 km)
Margen interior continental (5797.34 km)	Parte interior de las barras - 38.34% (2222.65 km)
	Costa de los cuerpos interiores - 61.66% (3574.69 km)

Por otra parte, el litoral de la costa del Golfo México y Mar Caribe mexicanos tiene una longitud frontal de 2768 km. La clasificación de este litoral, se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Litoral de la costa del Golfo de México y Mar Caribe (Ortiz y de la Lanza, 2006).

Clasificación de la línea de costa	Tipo de costa
Costa frontal (2768.838 km)	Playas de arena - 92.46% (2559.97 km)
	Costas rocosas - 5.29% (146.495 km)
	Anchuras de bocanas - 2.25% (62.373 km)
Margen interior continental (4900.247 km)	Parte interior de las barras - 36.63% (1795.075 km)
	Costa de los cuerpos interiores - 63.37% (3105.172 km)

Existen diferencias muy marcadas entre los sistemas costeros del Golfo de México y los del Pacífico, e incluso entre los del Golfo de California y lado occidental de la Península, resultado de las diferencias de clima, los aportes fluviales y los aportes continentales (Lara, 2008).

Tipo de costa

Las costas se pueden diferenciar dependiendo del origen que hayan tenido, naturaleza y características del material que la componen. De esta forma pueden clasificarse en dos grandes grupos (Peña, 2007):

- Costas acantiladas, rígidas o rocosas
- Costas sedimentarias, flexibles o playas

Dentro del primer grupo se encuentran los acantilados bajos o cantiles y zonas rocosas bajas. Dentro del segundo grupo se encuentran las playas que dependiendo del grosor del sedimento que la componen puede ser arena, gravilla y grava (Peña, 2007).

Los acantilados son formaciones rocosas, más o menos escarpadas y de una cierta altura, expuestas al mar. Cuando el acantilado es de poca altura se le llama cantil. Los acantilados se encuentran en continua erosión al estar en contacto con el oleaje, lo cual constituye una de las fuentes sedimentarias de las costas (Peña, 2007).

Las playas son acumulaciones de material sedimentario no consolidado en el borde costero o zonas litorales. Las playas están sujetas a la acción del oleaje, las corrientes, los vientos y las mareas, donde el oleaje es el principal agente climático causante de la dinámica litoral. Otros factores fisiográficos que influyen en las playas son la batimetría, la pendiente de la playa y el tamaño de grano del sedimento. Una playa puede distinguirse principalmente por el tipo de material que la forman, así existen playas de arena, gravilla, grava y bolos, pudiendo ser, además calcáreas, silíceas, etc. (Peña, 2007).

Una gran variedad de ecosistemas se encuentran distribuidos a lo largo de la zona costera como humedales, dunas, lagunas costeras, esteros, playas, etc. Los ecosistemas costeros resultan muy productivos, lo cual ocasiona que se desarrollen varias actividades económicas en esta zona y provoca que, debido al dinamismo de estas áreas, cuando no son debidamente planeados sean los más amenazados en el mundo (Lara, 2008).

2.2 Población costera de la República Mexicana

A nivel mundial, se estima que más de la mitad de la población vive dentro de una franja de 100 km de costa (Lara, 2008), y se calcula que el 10 % de la población actual habita en zonas costeras de baja elevación con una densidad de población de 288 habitantes/ km², se prevé que en el 2100 esta densidad se incremente a 455 habitantes/ km² (Silva et al., 2014a).

El continente Americano, ha sido catalogado como uno de los territorios de riesgo localizado dentro de zonas costeras de baja elevación. Más aún, el acelerado crecimiento de la población en América Latina aumentará sustancialmente el riesgo en estas zonas para el periodo de 2000 a 2100. En América Latina los países con más población vulnerable y

superficie en riesgo lo ocupan en primer lugar Brasil, segundo lugar México, y posteriormente Argentina (Silva et al., 2014a).

México es uno de los países de América Latina que presentan más de 100 km² de ciudades por debajo de la cota de 10 m (CEPAL, 2012).

El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en el capítulo de Hidráulica Marina señala que en la zona económica exclusiva (ZEE) se han identificado más de tres mil islas, de las cuales sólo 144 se encuentran habitadas por aproximadamente 6 % de la población nacional, siendo las islas del Carmen en Campeche y Cozumel en Quintana Roo, las que tienen mayor población.

El crecimiento demográfico y el desorden de los asentamientos humanos, generado principalmente por los grupos con menores recursos que llega a asentarse a las zonas de mayor inseguridad, convierte a estos factores en enemigos de los fenómenos naturales y que posteriormente se vuelven desastres (Tun et al., 2012).

Asimismo, el desarrollo acelerado de las actividades económicas propicia un crecimiento desordenado en la zona costera, lo cual genera conflictos ambientales por competencia o explotación e implica la exposición de la infraestructura, la vegetación, la playa y actividades económicas que se desarrollan en ese entorno (Lara, 2008).

Las zonas costeras de México actualmente presentan la pérdida del hábitat en zonas intermareales, dunas y acantilados debido a la actividad antropogénica. En estas zonas, los asentamientos humanos presentan un riesgo mayor ante fenómenos naturales catastróficos, debido a su ubicación en las zonas inundables y por la eliminación o el deterioro de la vegetación (p.e. manglar), lo que ocasiona que la población y a su infraestructura se hace más vulnerable.

2.3 Compartimento litoral

Silva et al., (en edición), reportan que un compartimento litoral define zonas homogéneas de circulación de sedimento (como indicador se tiene al tipo de material que conforma la costa); mientras que la celda litoral está asociada a rasgos fisiográficos. Asimismo, menciona que dentro de una celda se pueden encontrar uno o varios compartimentos litorales, por lo tanto, dichas celdas y compartimentos litorales se pueden distinguir de forma longitudinal o transversal a la costa.

A lo largo de la línea de costa (longitudinal), se pueden diferenciar las siguientes celdas litorales sujetas a una jerarquía de escalas espaciales o temporales. Silva et al., (en edición):

- *Micro celdas* que van de 0 a 1 km (escala espacial) o de 0 a 1 año (escala temporal), con cambios oscilantes a baja escala.

- *Meso celdas* de 1 a 10 km (escala espacial) o de 1 a 10 años (escala temporal) con cambios periódicos a meso escala determinados por el comportamiento de la configuración morfológica o por un nuevo equilibrio en la línea costera.
- *Celdas litorales* en escala espacial de 10 a 100 km o 10 a 100 años en escala temporal, con cambios lentos de gran escala ocasionados por fenómenos naturales. Asimismo pueden ocurrir cambios a gran escala por la presencia de estructuras artificiales que propician un nuevo equilibrio.

En este trabajo la caracterización de los compartimentos litorales se realizó de acuerdo con el material que compone la línea de costa y limitados por otras características, tales como: la desembocadura de un río o lagunas, la presencia de espigones y los cambios bruscos en la alineación de la línea de costa.

Los compartimentos litorales más pequeños que se caracterizaron tienen aproximadamente 200 m de longitud y los más grandes alrededor de 100 km. La clasificación del tipo de costa fue de en tres grupos:

- Arena
- Grava
- Acantilado

En el tercer grupo se incluyeron los cantiles y aquellos acantilados con rasa o playa que se forma con el material descompuesto y erosionado del acantilado y parcialmente sumergida (Peña, 2007).

Por otro lado, las zonas donde el manglar está expuesto al mar se clasificaron como costa de fango, un ejemplo de ello son los Petenes en Campeche. Asimismo, las poblaciones con puertos que indican la presencia de estructuras “duras” se consideraron como costa con protección artificial.

2.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad (V) se ha definido como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos que se encuentran en riesgo, resultado de la ocurrencia de un evento extremo, expresada en una escala que va de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total) (Maskrey, 1993).

Otra definición es la característica de un sistema que describe su potencial para ser dañado (Gouldby y Samuels, 2005). Este potencial es normalmente evaluado como el valor de daño esperado que un sistema puede experimentar, abarcando la biofísica y la dimensión humana.

No existe una metodología universal para determinar la vulnerabilidad y su análisis se debe adaptar a objetivos específicos y escalas adecuadas al contexto de cada zona de estudio. Sin embargo, existe unanimidad en que la vulnerabilidad debe tener en cuenta tres aspectos:

medio físico, medio ecológico y medio socioeconómico (CEPAL, 2012). Por lo tanto la vulnerabilidad puede ser evaluada usando cualquier unidad de medición capaz de representar y cuantificar correctamente el subsistema o sistema de interés (McFadden, 2007).

Capítulo 3. Estado del arte

3.1 Estudios de vulnerabilidad

3.1.1 Vulnerabilidad de la población

CENAPRED

El CENAPRED propone una manera de evaluar la vulnerabilidad física y social de la población mexicana ante la acción de sismos y vientos, a través de índices que reflejan el factor físico y social. Estos índices se obtienen con la información de bases de datos del INEGI, tanto de vivienda, como del ámbito socioeconómico de la población y toman en cuenta los antecedentes de desastres que ocurrieron en cada localidad. Para obtener la vulnerabilidad física de la vivienda, se propone un índice que integra las características que la hacen susceptible al daño asociado al sismo o viento. Dicho índice se obtiene de multiplicar la clasificación de la vivienda (según las características usadas por el INEGI que se refiere al material de los muros) por el nivel de peligro por sismo o viento de acuerdo con la zona donde se encuentra (4 zonas que toman valores de 0.08 a 0.80). Dicho resultado se normaliza con el valor más desfavorable encontrado en la zona de interés. Por su parte, la vulnerabilidad social toma valores de 1 a 5, donde 1 es “Muy bajo” y 5 es “Muy alto”; estos valores se obtienen de sumar las condiciones sociales y económicas de la población multiplicadas por un peso de 0.5, más la capacidad de prevención y respuesta multiplicada por 0.25; y la percepción local de riesgo multiplicada por 0.25. El valor de cada variable también se considera a partir de cuestionarios que reflejan el estado en que se encuentra la población. Por último se integran ambas vulnerabilidades física y social, considerando un peso de 20 % en la vulnerabilidad social (CENAPRED, 2006).

3.1.2 Vulnerabilidad costera

Estudio de vulnerabilidad en 20 playas de Quintana Roo.

Torruco et al., 2013 realizaron un estudio para evaluar el riesgo y el grado de vulnerabilidad de 20 playas de Quintana Roo, analizando sus condiciones bioeconómicas durante tres temporadas de alta presencia turística entre 2009 y 2010. Ellos generaron matrices de vulnerabilidad y riesgo, con 17 variables biológicas y socioeconómicas y 10 periodos de muestreo, utilizando el modelo semiparamétrico de simulación KSIM, donde sólo es necesario especificar la relevancia del sistema de variables. Las variables seleccionadas fueron: 1.Población, 2.Playa arenosa, 3.Costa Rocosa, 4.Corrientes Litorales, 5.Transporte de sedimentos, 6.Hoteles, 7.Turismo, 8.Erosión, 9.Acreción, 10.Limpieza de playas, 11.Relleno de playas, 12.Cambios de pendiente, 13.Biodiversidad, 14.Hábitats, 15.Tormentas/ Huracanes, 16.Construcción de casas y 17.Presencia de un arrecife de coral. Dichas simulaciones se realizaron con dos escenarios, uno sin control en el desarrollo

costero y otro con las mismas características, pero con baja calidad ambiental que provocará un decremento en la demanda turística.

Este estudio tuvo la finalidad de generar una visión que combine el éxito económico del turismo y el bienestar de los recursos naturales y culturales presentes en la zona costera de Quintana Roo.

Estudio de vulnerabilidad en 13 regiones del Golfo de California.

Por otra parte Díaz et al., 2008 efectuaron un análisis en 13 regiones del Golfo de California para identificar los sitios costeros vulnerables al incremento del nivel medio del mar, estudiando las implicaciones geofísicas, biológicas y socioeconómicas, de las cuales analizaron solamente la erosión, el impacto ecológico y la población costera que tiende a aumentar en zonas vulnerables. Obtuvieron índices de vulnerabilidad utilizando la metodología propuesta por Gornitz, 1997. Seleccionaron las siguientes variables: físicas (amplitud de marea, pendiente hidráulica, oleaje de tormenta, procesos exógenos y endógenos), biológicas (áreas de importancia biológica) y socioeconómicas (densidad poblacional, acuacultura, pesca, turismo, infraestructura costera, infraestructura vial). Con base en los valores de índices, establecieron rangos de vulnerabilidad que son: 1) Menos vulnerable, 2) Moderadamente vulnerable y 3) Altamente vulnerable. Encontraron que la región con mayor vulnerabilidad es el Alto Golfo, ya que la superficie tiene una altitud menor a 10 m sobre el nivel medio del mar y una gran amplitud de marea, seguida por Mazatlán y los Cabos que están influenciadas por el gran turismo que en esas regiones se realizan. Estos sitios vulnerables podrían ser afectados de 1 a 3 metros con el avance del nivel medio del mar.

Estudio de vulnerabilidad a la erosión en las playas de Yucatán.

Un estudio de vulnerabilidad (Cuevas, 2014) se desarrolló sobre la costa norte de la Península de Yucatán en las playas de Chuburná, Chelem, Puerto Progreso, Uaymitún, Yucaltepén y Chicxulub, derivado del problema de erosión que se presenta en dichas playas y que provoca inseguridad de personas y bienes por el alto grado de urbanización que presentan algunas zonas. Para identificar las zonas de mayor vulnerabilidad caracterizó la geomorfología de una porción de playa, así como análisis de los cambios en perfiles topobatómicos, granulometría, oleaje, cambios en la línea de costa, el parámetro de forma A del modelo Dean y el parámetro adimensional de velocidad de asentamiento (Ω). Variables como la presencia de vegetación en la duna, el ancho de playa, la extensión de antropización y la tendencia erosivo/ acumulativa de la línea de costa se sometieron al análisis multicriterio (MCE), cada uno estandarizado linealmente en un rango de valores de 1 a 100 con relaciones directas e indirectas. De esta manera se establecieron tres niveles de susceptibilidad. De 1 a 33, baja susceptibilidad, de 34 a 66 moderadamente susceptible y de 64 a 100 alta susceptibilidad. Cada factor estandarizado se combinó aplicando el mismo

peso a cada uno de ellos. Finalmente se obtuvo el indicador construido con las distintas fuentes de datos, que muestran los sitios con mayor y menor susceptibilidad de erosión, que son de gran utilidad en el tema de selección de sitios prioritarios para acciones de manejo, así como para establecer políticas de regularización para el desarrollo de la costa que permita conservar los sistemas de playa y proteger la infraestructura y bienes a largo plazo.

La vulnerabilidad y sustentabilidad de la costa deltaica: El caso del Delta Ebro, España.

El Delta del Ebro se ha considerado particularmente una costa ambientalmente vulnerable por las actividades antropogénicas que se han desarrollado en este lugar y que han provocado cambios en la geomorfología del sistema. Notando cambios en la superficie sub-aérea y en las tasas de elevación vertical. La vulnerabilidad de cada subregión (Isla de Buda, garxal, humedales costeros, barras de arena y parque natural) se obtuvo a partir de un índice de impacto relativo que fue calculado como la división de la medición o estimación del cambio de la superficie deltaica como una escala temporal, entre la superficie deltaica total. Donde los valores negativos indican un sistema vulnerable, mientras los valores positivos un sistema resiliente. Se obtuvieron valores negativos (-0.19) en la Isla de Buda debido a los cambios en la línea de costa en la última década. La ubicación de esta subregión es cercana a la boca del río. El máximo valor negativo es -1, el cual supone la desaparición total (Sánchez et al., 2007).

Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Vulnerabilidad y exposición.

A nivel internacional se han desarrollado estudios de vulnerabilidad y exposición por los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe (CEPAL, 2012). El área de estudio abarco más de 72000 km de costa y 20 km tierra adentro, divididas en celdas de 5 km sobre la línea de costa. Para obtener la vulnerabilidad de la costa ante inundación, este estudio consideró tres aspectos importantes: el medio físico, ecológico y socioeconómico. En donde la vulnerabilidad de un tramo de costa V_m , es la suma de la vulnerabilidad de todas las celdas (n) de ese tramo, localizadas en la zona expuesta, V_{nm} , que a su vez, será la función de vulnerabilidad de cada uno de los tres sectores afectados: medio físico V_{nm}^F , medio ecológico V_{nm}^{ECO} y medio socioeconómico V_{nm}^{SE} . La vulnerabilidad física de la costa V_{nm}^F , está intrínsecamente considerada en el cálculo de los agentes (pendiente, batimetría, tamaño de grano, tipo y orientación de la costa, rango de marea) e incertidumbre. La vulnerabilidad ecológica V_{nm}^{ECO} , y socioeconómica, V_{nm}^{SE} , de un tramo de costa, depende de los ecosistemas y actividades económicas y sociales que tengan lugar en ese espacio. V_{nm}^{ECO} es un índice cualitativo que multiplica a V_{nm}^{SE} que representa el valor de los ecosistemas y de las actividades y usos en $\$ m^2 \text{año}^{-1}$. También se realizó un cálculo más específico de la vulnerabilidad de tres elementos de la costa: las playas, infraestructuras portuarias y arrecifes de coral. Los ecosistemas considerados fueron los

humedales, estuarios, marismas de agua salada, desiertos y manglares. Otras variables consideradas en el ámbito socioeconómico fueron las carreteras y ferrocarriles en la zona costera, el área de cultivos, trama urbana, densidad de población y el PIB (Producto Interno Bruto). La información compilada a través de imágenes de satélite para las playas fue la longitud, orientación, anchura media y tipo de playa (encajada, rectilínea o puntual); para las ciudades la longitud de frente marítimo. En el caso de puertos se obtuvo el área de espejo de agua abrigada y la longitud de los diques de defensa y para las desembocaduras, su anchura media. El estudio partió de crear máscaras de inundación de 1 a 10 m de cota topográfica a partir del modelo digital del terreno Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y con esta herramienta se obtuvo el área de cada variable ecológica o socioeconómica inundada por cualquier amenaza natural en las diferentes cotas, es decir, para cada uno de los segmentos de costa o unidades de estudio, se dispuso de la superficie afectada de cada una de las variables de interés para los 10 niveles delimitados. El índice de vulnerabilidad ecológica ofreció valores en el rango de 1 a 3. Dicho estudio también fue evaluado por país para permitir una comparativa entre los mismos (CEPAL, 2012).

Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable.

Silva et al., 2014 realizaron un estudio para el manejo sustentable de las costas mexicanas, presentando una caracterización y clasificación de los principales ambientes costeros del país. Dicho estudio identifica las zonas de riesgo y, a partir de la evaluación de los peligros y la vulnerabilidad, obtiene tres clasificaciones a nivel nacional: geomorfológica, hidrodinámica y ecológica, permitiendo generar una caracterización y zonificación de la costa, que consta de 14 mega regiones y 28 tipos de ambientes costeros representativos del litoral mexicano.

Para conocer los impactos que las obras y/o actividades antrópicas, tales como rompeolas, escolleras, espigones, muelles, puertos, marinas, muros, carreteras y puentes, entre otras, pueden generar en los 28 tipos de ambientes costeros, se utilizó el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) desarrollado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) (OECD, 1991; OECD, 1993). El sistema PER permitió hacer recomendaciones a impactos morfodinámicos de obras y actividades por tipo de ambiente, considerando los cambios en el sistema y las consecuencias. La vulnerabilidad se evaluó para las zonas propensas a inundaciones por marea de tormenta y oleaje extremo a nivel nacional. La vulnerabilidad asociada a la erosión costera se evaluó con los mapas del tipo de costa y geodinámica, considerando a las costas bajas arenosas y con retroceso como las más vulnerables. En este trabajo también se presentó una propuesta de reglas y criterios de obras y actividades que se pueden desarrollar en la zona costera. Asimismo, se mostró un análisis a nivel regional de Holbox y Bahía Banderas, lugares en los cuales con base en la caracterización y clasificación se identificaron los peligros de estas zonas y su vulnerabilidad física (elevación media del territorio, geología, geomorfología,

desplazamiento vertical y horizontal de la línea de costa, altura de ola significativa, rango de marea, nivel de protección natural, peligro por oleaje extremo y por marea de tormenta) y socioeconómica (población total, densidad de población, PIB per cápita, tasa de participación económica, índice de desarrollo humano, índice de marginación, pobreza, unidades económicas (sector turismo), producción bruta total, valor agregado bruto (turismo), áreas protegidas y sectores productivos). Un valor del 1 al 5 se le asignó a cada parámetro con base en la caracterización y cómo siguiente paso se obtuvo el grado de vulnerabilidad para cada sección utilizando la ecuación de Gornitz, 1991:

$$V = \left[\frac{1}{n} (a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n) \right]^{1/2}$$

Ecuación 3.1

Donde:

a_i = parámetro

n = número total de parámetros presentes.

Dichos valores de vulnerabilidad física y socioeconómica permitieron establecer cuatro categorías: Baja, Moderada, Alta y Muy alta vulnerabilidad, tomando en cuenta los máximos y mínimos del rango que pudiera ser posible. Finalmente se obtuvo que los dos sitios de estudio son vulnerables a la inundación y erosión costera provocada por eventos hidrometeorológicos extremos.

Capítulo 4. Metodología para evaluar la vulnerabilidad de la costa y población de la República Mexicana

4.1 Área de estudio

La República Mexicana está situada en el hemisferio norte del continente americano, se ubica entre los paralelos 14°31.9' y 32°43.1' (latitud norte) y está comprendida entre las longitudes oeste 118°27.4' y 86°42.6' del meridiano de Greenwich (INEGI, 1991).

Las costas de México limitan al oeste con el océano Pacífico y al este con el golfo de México y mar Caribe, siendo el segundo país americano con mayor longitud de costas después de Canadá. Como se mencionó en el capítulo 2 el país tiene 17 entidades federativas con apertura al mar (Figura 1), que representan el 56 % del territorio nacional y 150 municipios con frente litoral que constituyen aproximadamente el 21 % de la superficie continental de México (INEGI, 1991).



Figura 1 Estados costeros de la República Mexicana.

Los mares y el litoral costero de México representan una base para el desarrollo nacional, sin embargo, México se encuentra en la lista de los países con los ecosistemas marinos más

vulnerables ante los efectos de los fenómenos naturales y actividades antropogénicas (Lara, 2008).

Dentro de los ecosistemas costeros y marinos, se encuentran los manglares, arrecifes, humedales, vegetación, entre otros. Distintas instituciones expertas en manglares como la CONABIO, el INE, la CONAFOR, la CONANP, el INEGI y la SEMAR, determinaron que la superficie de manglar para México representa 0.39 % del territorio del país y en áreas protegidas es de 53.7 % del total (Lara, 2008), lo cual es una extensión mayor a la que se encuentra en la mayoría de los países de América y África (Flores, 1989) citado en (Sánchez et al., 2007).

La extensión de los humedales en México es mayor en la costa que tierra adentro, ya que cuenta con más de 125 lagunas costeras que representan el 33 % de sus litorales (Lankford, 1977) citado en (Sánchez et al., 2007). Por ejemplo, la mayoría de los sistemas costeros del Golfo de México son lagunares-estuarinos, al contrario del Pacífico mexicano donde solo destaca la presencia de cuatro de estos sistemas (Lara, 2008).

Otro elemento natural de gran importancia en la costa son las dunas. En México aproximadamente el 50 % de las dunas costeras paralelas a la línea de costa (dunas frontales), son de baja altura; mientras que el 45 % son dunas transgresivas y menos del 10 % dunas parabólicas. Las dunas de México varían mucho según la altura, pudiendo alcanzar los 40-50 m o hasta 130 m (Martínez et al., 2004).

La caracterización de las poblaciones costeras de México para desarrollar este trabajo se realizó en 5 km tierra adentro, tomando en cuenta la presencia o ausencia de los ecosistemas costeros. La elección de dicha distancia de franja se explica en el apartado 4.6.

4.2 Definición de variables

Para evaluar la vulnerabilidad de la población costera mexicana se consideraron 12 variables que proporcionan información ecológica, ambiental y social, así como también reflejan la protección física que presentan las localidades. Las 12 variables y su clasificación se muestran en la Figura 2a y 2b.

Variables de la población

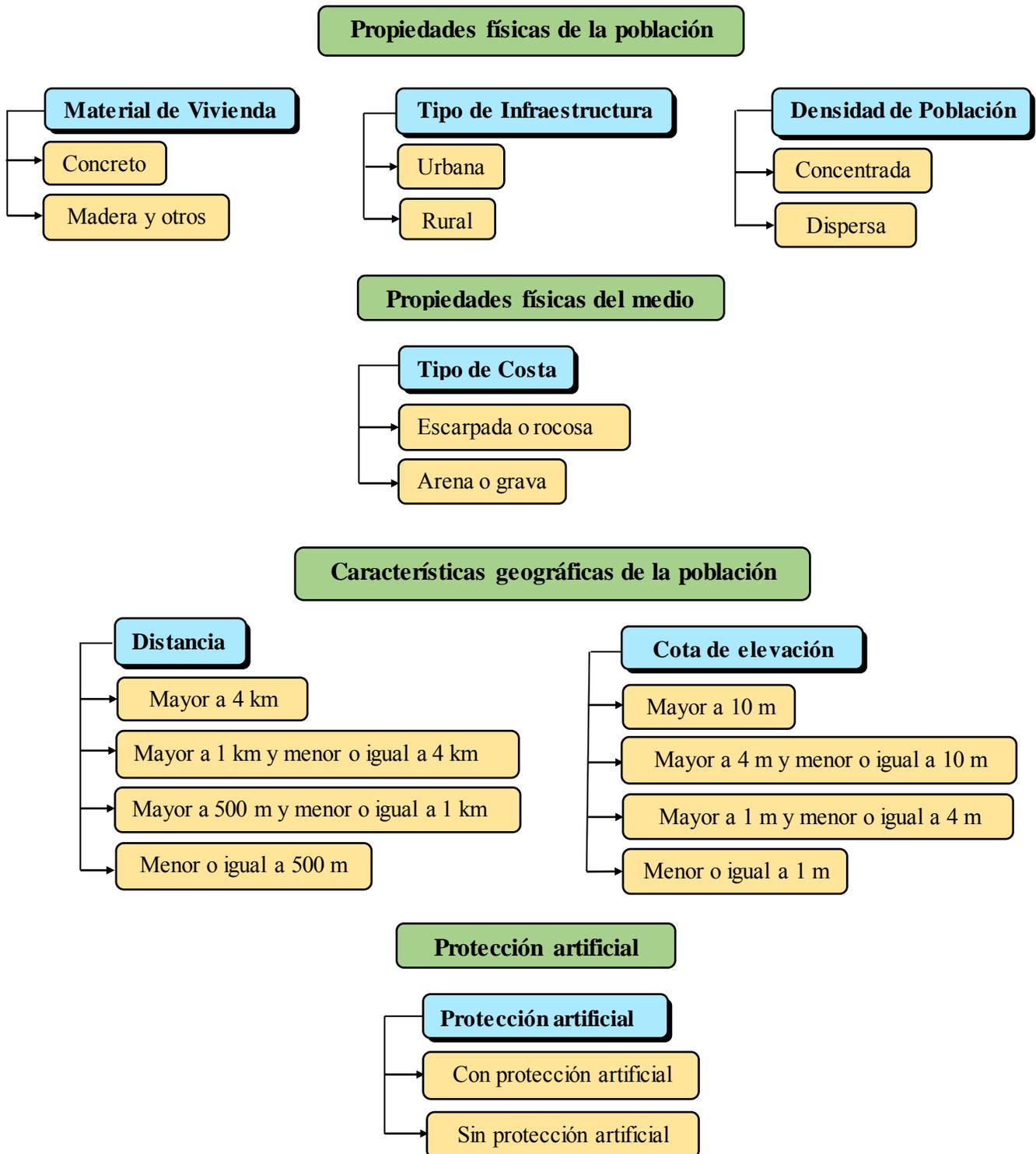


Figura 2a Esquema de variables de la población para evaluar la vulnerabilidad.

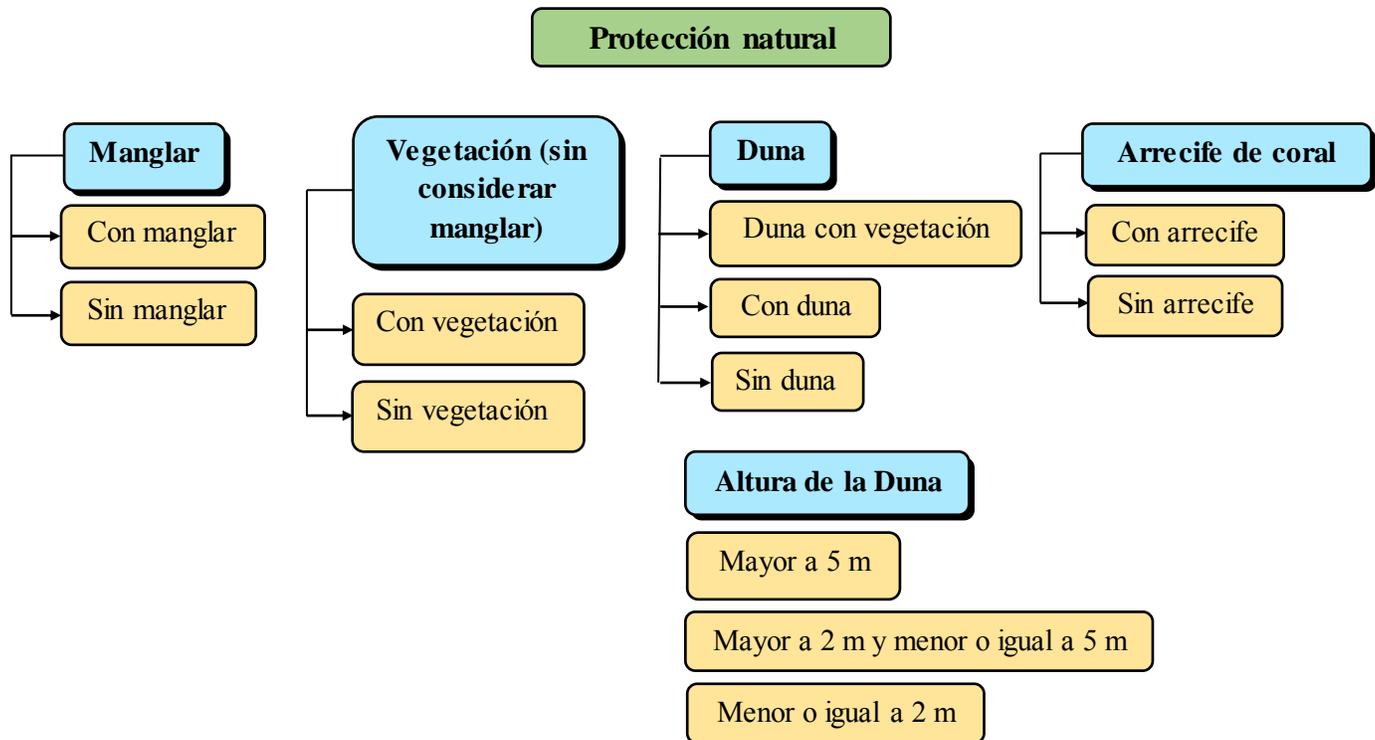


Figura 2b Esquema de variables de la población para evaluar la vulnerabilidad.

La selección de variables se realizó a partir de la justificación que se describe a continuación, la cual demuestra la importancia de cada variable para ser considerada en este análisis.

Los **humedales** se ubican en la zona costera, en tierras bajas inundables que reciben la influencia de la marea. Los humedales se vuelven más vulnerables cuando sufren un deterioro por causas naturales o antropogénicas (Lara, 2008). El crecimiento poblacional provoca una expansión urbana, que destruye miles de hectáreas de bosques, hábitat costero y en particular los humedales. Al subir el nivel del mar la urbanización impide la migración de los humedales tierra adentro con muros de retención y otras estructuras. Esta destrucción provoca que las costas sean más susceptibles a las amenazas naturales, como vientos huracanados o crecidas de tormentas. Asimismo, este crecimiento urbano costero desordenado, expone a las personas cada vez más a los peligros costeros. En un lugar donde existen grandes extensiones de humedales, su desaparición puede tener efectos muy dañinos, generando grandes cambios en el área pesquera y provocando que se pierda un gran amortiguador que puede disminuir los efectos de las tormentas (Jacob, 2010). Un claro ejemplo del rol que juegan los humedales en la protección de la población fue publicado por el Consejo de Construcción Verde de España basado en el caso de estudio de Nueva Orleans, que promueve la conservación de los humedales que actúan como diques para las olas protegiendo a la ciudad (Consejo de Construcción Verde de España, 2005).

El **manglar** siendo un humedal, es un ecosistema muy productivo, ya que proporciona distintos servicios ambientales, como son: estabilizar la línea costera y formar barreras contra huracanes, protegiendo los bienes que se encuentran ubicados detrás. Esto ocurre siempre y cuando el manglar conserve las condiciones adecuadas que le permiten ofrecer protección natural (Lara, 2008).

El manglar también proporciona una reducción de la energía del oleaje, por ejemplo, se dice que un bosque de mangle de 1.5 km de ancho reduce 1 m de altura de ola en mar abierto a 0.5 m de altura de ola en la costa (Mazda, 1997). El manglar y la **vegetación** resultan importantes para proteger a la población de las condiciones marinas extremas. Esta protección ha sido probada científicamente con estudios experimentales que demuestran que esa disipación de olas, depende de la densidad del bosque de manglar y el diámetro del tronco de los árboles. Así las corrientes fluyen alrededor y no a través del bosque (Furukawa, 1997).

Las **dunas de arena** poseen una capacidad natural para disipar la energía de la ola y juegan un rol defensivo contra fenómenos naturales costeros (Mascarenhas y Jayakumar, 2007). La vegetación en la duna actúa como trampa de sedimento, disminuyendo la velocidad del viento cercana al suelo y creando ambientes de refugio donde se deposita y estabiliza la arena transportada por viento (Bird, 2000). Como ya se mencionó, las dunas costeras ofrecen una protección de amortiguación natural; sin embargo, resulta muy importante que conserven las condiciones naturales que la hacen robusta. Por ejemplo, la **altura de duna** como característica física, define el grado de protección que ofrecerá la duna ante grandes alturas de ola. Cuando se construye sobre la duna, se anula su función de barrera protectora, que normalmente es sustituida con otro tipo de barrera artificial, que no resulta tan resistente a las tormentas. Lo anterior provoca erosión costera y aumenta el riesgo para los bienes ubicados sobre la duna, en la época de tormentas (Molina, 1998).

El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su capítulo de Hidráulica Marítima menciona que la presencia de una **estructura de protección costera**, por ejemplo diques, rompeolas y espigones, tiene la función de proteger un puerto, estructuras cercanas a línea de costa y las playas, contra la acción erosiva de las corrientes litorales y el oleaje. Asimismo una estructura artificial reduce la energía del oleaje; no obstante, resulta menos efectiva que una protección natural en la mitigación de daños ante eventos extremos (Harada y Imamura, 2002).

El crecimiento de la **densidad de población** y urbanización, incrementa la exposición de bienes ante los desastres naturales. Cuando la densidad de población tiende a aumentar, ejerce presión sobre los ecosistemas costeros, lo cual provoca que en ocasiones agoten los recursos propios para servir de protección natural a las poblaciones. Esta variable es considerada muy importante para evaluar la concentración de población en los primeros niveles de elevación, es decir, expresa la relación de habitantes y la superficie o el área que

abarcan en una cota de elevación. La densidad de la población representa una distribución en los primeros kilómetros de la costa (CEPAL, 2012).

La **cota de elevación** de las localidades costeras aunado a la marea y al pronóstico del incremento del nivel medio del mar, modifica la vulnerabilidad de unas zonas respecto de otras para ciertos impactos en las costas, como son las inundaciones asociadas con huracanes y otras tormentas. Esta variable permite hacer conciencia que un 10 % de la población mundial reside en zonas costeras que presentan una elevación inferior a 10 m (Silva et al., 2014) como se mencionó en el apartado 2.2. Igualmente la cota de elevación en la que está situada una población refleja por sí misma su grado de vulnerabilidad.

Los **arrecifes de coral** reducen la energía del oleaje por medio de la fricción del fondo marino, siendo un sistema de protección natural que es necesario conservar para evitar la alteración de otros ecosistemas y disminuir el impacto del oleaje en la infraestructura costera (Wielgus et al., 2010).

La **infraestructura** indica el nivel socioeconómico de una población y de esta manera las posibilidades de enfrentar, reaccionar, recuperarse y prevenir los daños provocados por los fenómenos naturales. Por esta razón esta variable es muy importante para definir el grado de vulnerabilidad de una población costera. Las poblaciones urbanas hacen que las costas sean más susceptibles a las amenazas costeras, no obstante, una ciudad puede acceder más fácilmente a una buena planificación urbana antes que una localidad rural, que le permitirá disminuir su vulnerabilidad con estrategias de protección civil (Jacob, 2010).

La **distancia** de la población a la línea de costa permite evaluar inmediatamente el grado de vulnerabilidad de los asentamientos abarcando mayores áreas, ya que los desastres naturales históricos que provocaron más daños, han sido a las poblaciones ubicadas en una franja costera de un kilómetro tierra adentro a partir de la línea de costa (CEPAL, 2012).

El **material de vivienda** que presenta una población resulta muy importante porque refleja la resistencia que tiene la infraestructura ante el embate de los fenómenos hidrometeorológicos. Los daños pueden ser muy altos cuando las normas de construcción no son las adecuadas. Los registros de daños históricos han demostrado que las construcciones de concreto con buenos cimientos, resisten más ante fuertes intensidades que aquellas de materiales perecederos (cartón, lámina, madera) que se destruyen ante la presión que ejerce el agua o el viento en forma lateral (Angelotti, 2014).

El **tipo de costa** se define por el material que compone la playa. La clasificación del material son arenas, gravas, y acantilados o playas rocosas. Dicho material actúa diferente ante la gran fuerza del oleaje. Las olas erosionan con mayor facilidad las rocas más débiles. En México varias poblaciones son altamente vulnerables porque sus playas de arena fueron o están siendo erosionadas por la energía del oleaje y se encuentran expuestas a sufrir graves daños. (Cuevas, 2014).

4.3 Caracterización y creación de la base de datos

Se diseñó una base de datos que almacena la información de las variables para evaluar la vulnerabilidad de 1109 poblaciones costeras ubicadas en una franja de 5 km tierra adentro de la línea de costa y que poseen una población mayor o igual a 100 habitantes.

Tabla 6 Bases de datos de instituciones gubernamentales.

Institución	Nombre de la base de datos
CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad), (CONABIO, 2012)	-Shape de localidades de la República Mexicana, 2010 ¹ . -Shape de estados de México ¹ . -Shape de distribución de manglares en México en 2010 ¹ .
INEGI (Instituto nacional de estadística y geografía)	-Shape de humedales potenciales ² . -Shape de vegetación densa de México ³ . -Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según los materiales en paredes de cada municipio ⁴ . - Base de datos de superficie de las 32 áreas geoestadísticas Estatales y las 2454 áreas geoestadísticas municipales del país, obtenida a partir del Marco geoestadístico municipal, proporcionado en el chat de INEGI.
SCT (Secretaría de comunicaciones y transportes)	-Mapa de puertos de México, 2013 ⁵ .
SOMAC (Sociedad mexicana de arrecifes coralinos)	Base de datos de Arrecifes de coral del Pacífico mexicano ⁶ .

¹ CONABIO, 2012. Portal de geoinformación. [en línea]. [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

² INEGI Recursos Naturales. Humedales potenciales [en línea] [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/humedales/>

³ INEGI Recursos Naturales. Uso de suelo y vegetación [en línea] [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/ usosuelo/inf_e1m.aspx

⁴ INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados del Cuestionario Ampliado. [en línea]. [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=27303&s=est>

⁵ SCT. Puertos y marina. Puertos de México. [en línea]. [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/puertos-de-mexico/>

⁶ SOMAC. Corales y Arrecifes. Puertos de México. [en línea]. [Citado en Noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web: <http://www.somac.org.mx/somac/>

Los datos requeridos fueron recopilados y también generados a partir de las bases de datos de instituciones gubernamentales, algunas representadas en archivos shape (.shp) como se muestra en la Tabla 6, los cuales son archivos vectoriales conformados por puntos, líneas o polígonos, compuestos de tres archivos (.shx, .shp y .dbf) que contienen información alfanumérica y geométrica.

Los archivos de las variables **manglar** y **vegetación densa**, mencionadas en la Tabla 6, se utilizaron para caracterizar la población costera del archivo shape de localidades de la República Mexicana 2010, editado en el sistema de información geográfica QGis de acuerdo con los criterios mencionados al inicio de este apartado. Las localidades que presentan manglar en la caracterización, se registraron sin vegetación densa en la base de datos. Asimismo las bases de datos que no contaban con archivo shape (.shp) (puertos, arrecifes de coral y otros que se mencionarán más adelante), fueron generados a partir de coordenadas para seguir con el procedimiento de caracterización. El archivo shape **arrecifes de coral** del Golfo de México, fue creado con base en el sistema ReefBase (Oliver, 2004).

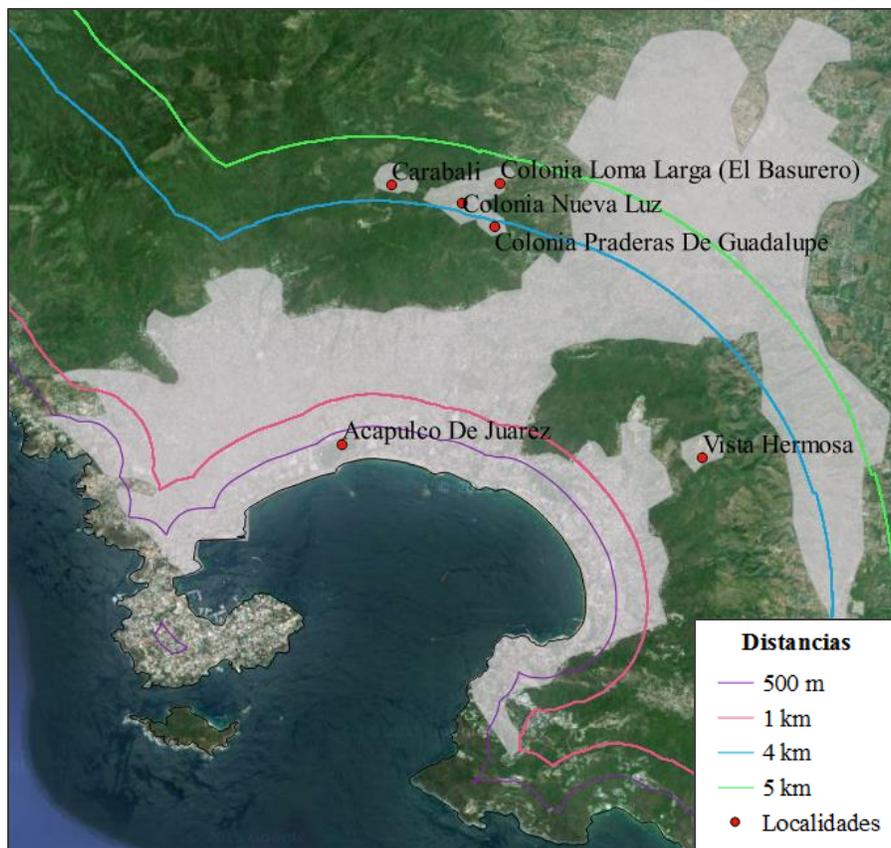


Figura 3 Archivo shape de distancias desde la costa.

El Diagnóstico de dunas costeras de México de la Semarnat y Conafor (Martínez et al., 2014) publicó imágenes de ubicación de **dunas costeras** y **vegetación de dunas** por

estado, las cuales fueron georreferenciadas en este trabajo para obtener un archivo shape como herramienta para la caracterización.

El **tipo de infraestructura** se definió con base en la población total de cada localidad a partir del criterio que establece INEGI, donde una localidad es rural cuando tiene una población menor a 2500 habitantes y una urbana cuando tiene una población mayor o igual a 2500 habitantes (INEGI, 2010).

El **tipo de costa** (arena, grava, acantilado o playa rocosa) se definió al caracterizar la costa mexicana (incluyendo islas) en Google Earth, con el apoyo de fotografías de Panoramio y 360 Cities. La caracterización de esta variable produjo compartimentos litorales definidos a partir del tipo de costa, que más adelante se explicarán.

Con las herramientas del sistema de información geográfica QGis se trazaron rectas paralelas a la línea de costa que indican la **distancia** de 500 m, 1 km, 4 km y 5 km, correspondientes a la clasificación de esta variable. Dichas rectas agilizaron la ubicación de las poblaciones en la costa (Figura 3).

Para representar la **protección artificial** se caracterizaron en Google Earth los diques, espigones y estructuras de los puertos de las costas de México (Tabla 6) para crear un archivo shape de polígonos. La presencia de protección artificial se consideró en aquellas poblaciones que presentaban acreción en la línea de costa ante la existencia de un espigón, como se muestra en la Figura 4.

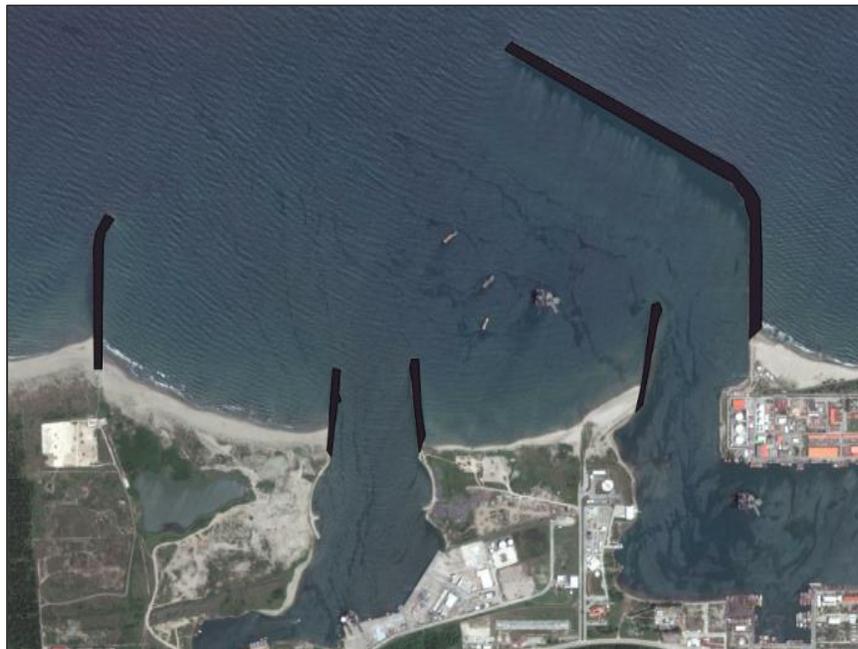


Figura 4 Estructuras de protección artificial en puerto Paraíso, Tabasco.

Material de vivienda

Utilizando la base de datos descrita en la Tabla 6 (elaborada por INEGI en el 2011 a partir del Censo de Población y Vivienda, 2010), se realizó un código en fortran para obtener el porcentaje de **material de vivienda** que predomina en cada localidad. Dicho porcentaje se asignó de acuerdo al estado al que pertenece la población y al número total de habitantes. En su base de datos, INEGI clasifica los materiales de paredes en vivienda como se muestra en los siguientes puntos:

- Material de desecho o lámina de cartón
- Embarro o bajareque, lámina de asbesto o metálica, carrizo, bambú o palma
- Madera o adobe
- Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto
- Material no especificado

Sin embargo, en este trabajo se consideran sólo dos clasificaciones del material de vivienda: “Madera y otros” y “Concreto”. Para obtener el porcentaje de “Madera y otros”, se sumó el valor de los tres primeros puntos y el “Concreto” tomo el porcentaje del cuarto material. El valor del “Material no especificado” del quinto punto fue despreciado, debido a que transmite mucha incertidumbre y es un porcentaje poco representativo.

Finalmente al contar con los porcentajes de los materiales “Madera y otros” y “Concreto”, estos fueron comparados para asignar a la población aquel material que presentara el mayor porcentaje.

La **densidad de población** de este análisis define a una localidad “dispersa” cuando tiene una población menor de 3000 hab/km² y una “concentrada” cuando tiene una población mayor o igual a 3000 hab/km². El valor mínimo que puede tomar una población concentrada, se definió a partir de los valores de ciudades mexicanas como Cancún (10397 hab/km²), Puerto Vallarta (4430 hab/km²), Acapulco (4638 hab/km²), Cozumel (4878 hab/km²), Manzanillo (3432 hab/km²), Mazatlán (5670 hab/km²), Boca del Río (7190 hab/km²), Veracruz, Veracruz (8386 hab/km²), La Paz (4275 hab/km²) y Cabo San Lucas (4376 hab/km²), que presentan altas densidades de población. La superficie (km²) de las localidades urbanas se obtuvo de la base de datos proporcionada por INEGI (Tabla 6). Por otro lado, la superficie (km²) de las localidades rurales se generó dibujando polígonos alrededor de cada población en Google Earth y se creó un archivo shape para calcular el área.

Finalmente la base de datos se creó en Excel (secciones de la tabla completa).

Tabla 7 Base de datos de la población costera mexicana en Excel.

IdPob	Estado	Municipio	Localidad	IdEst	IdMun	IdLoc
1	Baja California	Ensenada	Santa María (Los Pinos)	2	1	4860
2	Baja California	Tijuana	Baja Malibu (Campo Turístico)	2	4	529
3	Baja California	Tijuana	Roberto Yahuaca	2	4	1901
4	Baja California	Tijuana	San Marino	2	4	1919
5	Baja California	Tijuana	Antorcha Campesina	2	4	1926
6	Baja California	Tijuana	Ley Del Servicio Civil	2	4	1961
7	Baja California	Playas de Rosarito	Playas De Rosarito	2	5	1
8	Baja California	Playas de Rosarito	El Campito	2	5	8
9	Baja California	Playas de Rosarito	Santa Anita	2	5	25
10	Baja California	Playas de Rosarito	Misión Del Mar 1ra. Y 2da. Sección	2	5	28
11	Baja California	Playas de Rosarito	Cuenca Lechera	2	5	34
12	Baja California	Playas de Rosarito	El Descanso	2	5	36

IdPob	Latitud	Longitud	MatViv	CotaElev	TipoInf
1	30.4122222	-115.88833	Concreto	Mayor a 4 m y menor o igual a 10 m	Rural
2	32.4227778	-117.08944	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
3	32.4861111	-117.10111	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
4	32.4144444	-117.09	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
5	32.4752778	-117.08806	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
6	32.4202778	-117.04889	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
7	32.3422222	-117.05611	Concreto	Mayor a 10 m	Urbana
8	32.1797222	-116.90917	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
9	32.1008333	-116.86917	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
10	32.3025	-117.02306	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
11	32.1913889	-116.90306	Concreto	Mayor a 10 m	Rural
12	32.2027778	-116.90278	Concreto	Mayor a 10 m	Rural

IdPob	Arrecife	Distancia	TipoCosta	ProtArt
1	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Arena	Sin protección artificial
2	Sin arrecife	Mayor a 500 m y menor o igual a 1 km	Arena	Sin protección artificial
3	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
4	Sin arrecife	Mayor a 500 m y menor o igual a 1 km	Arena	Sin protección artificial
5	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
6	Sin arrecife	Mayor a 4 km	Arena	Sin protección artificial
7	Sin arrecife	Menor o igual a 500 m	Arena	Sin protección artificial
8	Sin arrecife	Menor o igual a 500 m	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
9	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
10	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
11	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial
12	Sin arrecife	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	Acantilado o Rocosa	Sin protección artificial

Continuación de la **Tabla 7** Base de datos de la población costera mexicana en Excel.

IdPob	Duna	Vegetación	Manglar	Densidad	AltDuna
1	Con duna	Sin vegetación	Sin manglar	Concentrada	2 m
2	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
3	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Concentrada	0 m
4	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
5	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Concentrada	0 m
6	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
7	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
8	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
9	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
10	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
11	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m
12	Sin duna	Sin vegetación	Sin manglar	Dispersa	0 m

4.4 Definición de compartimentos litorales mediante la utilización de imágenes satelitales

Los compartimentos litorales se identificaron a través de imágenes satelitales de Google Earth y asimismo con el apoyo de las fotografías de Panoramio y 360 Cities que anexa este programa, se permitió identificar el tipo de costa con mayor detalle.

A partir de las siguientes imágenes se hace una breve descripción del procedimiento que se llevó a cabo para determinar los límites de los compartimentos litorales con base en las imágenes que proporciona Google Earth.



Figura 5 Compartimentos delimitadas por la desembocadura de ríos.

La Figura 5, muestra 3 compartimentos litorales que fueron determinados y limitados por la presencia de una boca lagunar y la desembocadura de un río en Chiltepec, Tabasco.

El tipo de costa (fango, arena, grava y acantilado) también fue considerado para delimitar los compartimentos litorales (Figura 6). En la siguiente figura se observa que la presencia de estructuras de protección artificial modificó la línea de costa conformando 2

compartimentos en la zona de San Blas, Nayarit, mientras la desembocadura del río permitió conformar otro compartimento litoral en las costas de Matanchen.



Figura 6 Compartimentos delimitados por el tipo de costa, la presencia de estructuras de protección artificial y la desembocadura de un río.

En Bahía Asunción (Figura 7) se puede observar el cambio brusco en la línea de costa (puntas rocosas), es decir, el cambio de orientación de la costa que permite definir el final y comienzo de un nuevo compartimento que posee otra morfología a causa del ángulo del oleaje incidente, que posteriormente dicho compartimento es delimitado por el cambio en el tipo de costa.

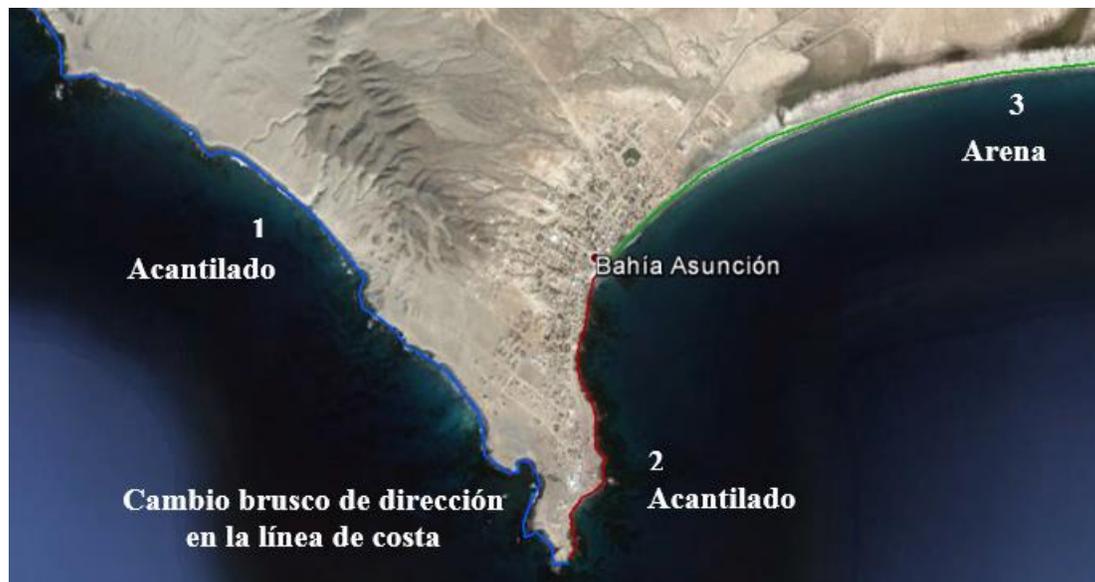


Figura 7 Compartimentos litorales delimitados por cambios bruscos en la línea de costa.



Los compartimentos de la Figura 8 en Palma Sola, Veracruz, se definieron de acuerdo al tipo de costa, conformando tres compartimentos litorales, siendo el primero de arena, el segundo acantilado y el tercero de arena

Figura 8 Compartimentos definidos de acuerdo al tipo de costa

4.5 Grado de importancia de cada variable

Se realizaron varias propuestas para definir la jerarquía de las variables que caracterizan la vulnerabilidad de la población en las costas mexicanas. De las cuales las más viables se muestran en la Tabla 8.

En este trabajo se concluyó que la opción 8 es una jerarquía adecuada para evaluar la vulnerabilidad de la población costera mexicana, estableciendo el orden de las variables por las siguientes razones:

Cuando se evalúa la amenaza que presentan los fenómenos naturales costeros, se debe tomar en cuenta su intensidad, efectuando preguntas cómo, ¿A qué elevación y distancia pueden llegar las mareas de tormentas e inundaciones? A partir de ello se determina que el primer criterio han de ser las características geográficas de la población, es decir, el área que se va a evaluar, tomando como propiedad inicial la **elevación** en la que se ubica el asentamiento y su **distancia** a partir de la línea de costa.

Tabla 8 Propuestas de jerarquía de variables

Opción 3		Opción 8	
Pesos	Variables	Pesos	Variables
12	Elevación	12	Elevación
11	Distancia	11	Distancia
10	Densidad	10	Densidad
9	Tipo de infraestructura	9	Tipo de infraestructura
8	Material de vivienda	8	Material de vivienda
7	Altura de duna	7	Altura de duna
6	Duna	6	Duna
5	Tipo de costa	5	Tipo de costa
4	Manglar	4	Protección artificial
3	Vegetación	3	Manglar
2	Arrecifes	2	Vegetación
1	Protección artificial	1	Arrecifes

La altitud de una población sobre el nivel medio del mar define las zonas vulnerables que se ubican en elevaciones menores a 10 m. La elevación de la tierra permite identificar y comparar eficazmente la vulnerabilidad de las costas mexicanas con respecto a otras regiones. Se considera que la tierra que se encuentra en riesgo mundial, son áreas de baja elevación en Asia y América (Silva et al., 2014). La CEPAL (2012), en el estudio de vulnerabilidad de las costas en Latinoamérica, realizaron modelaciones numéricas de inundación a diferentes cotas, en varios países costeros, concluyendo que los terrenos de altitud mayor a 10 m no sufrían daños.

La cota de elevación se consideró de mayor jerarquía que la distancia, porque puede ocurrir que una población cercana a la línea de costa no sea vulnerable ante inundaciones por la gran elevación que presente, así que la distancia depende de la cota de elevación para definir que una población está expuesta a sufrir un daño. Al estudiar las poblaciones cercanas a la línea de costa, se encontró que la elevación por sí sola refleja las zonas propensas a inundaciones y embates de los fenómenos naturales. Estas dos características van acompañadas y en conjunto pueden definir si existe vulnerabilidad en una población costera.

Maskrey, 1993 describe que los niveles de exposición de una población ante las amenazas naturales, depende en primer lugar de que los asentamientos e infraestructura se encuentren ubicados en áreas de riesgo, posteriormente al mal diseño de las estructuras que conforman los asentamientos y por último a las condiciones socioeconómicas que expresan qué tan preparada esta una población a un evento extremo y si estas condiciones son precarias, tiende a aumentar su vulnerabilidad. Por lo tanto la **densidad de población**, que la mayoría de las veces carece de planificación, se le dio el peso 10 en ambas propuestas.

La densidad de población refleja cuántas personas están concentradas en un área determinada y si ocurre un incremento en la densidad de población, entonces la exposición al daño aumenta. Se le asignó dicho grado de importancia ya que a mayor densidad de población se alteran los ecosistemas, creando competencia y agotamiento de los recursos naturales. Es necesario recalcar que el foco de atención se centra en las poblaciones con mayor densidad de población y que no tienen protección natural ni artificial, ya que es donde se pueden producir muchos daños.

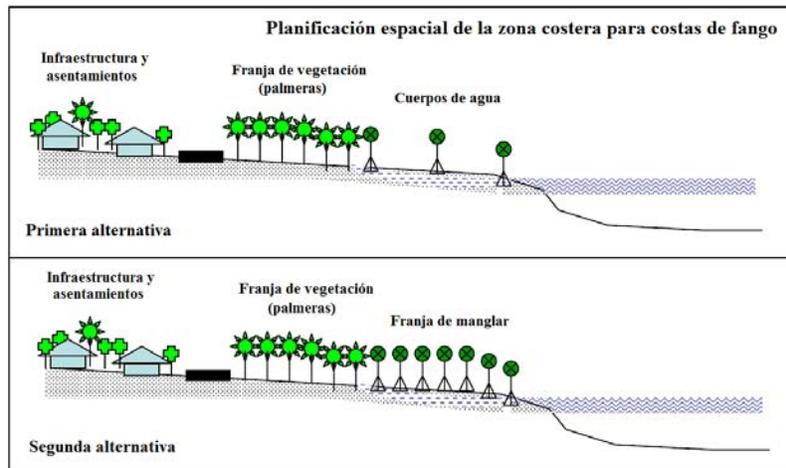
Al **tipo de infraestructura** (rural o urbana) se le asignó el peso 9, ya que es parte de nivel socioeconómico que tiene una población, que cómo ya se dijo permite definir la respuesta que tendrá la población ante fuertes intensidades y la manera en la cual podrá recuperarse en su conjunto.

Posteriormente, la tendencia es cuestionarse acerca de cuáles son las propiedades de construcción de los edificios más resistentes a las intensidades de los fenómenos hidrometeorológicos. Los códigos de construcción adecuados son parte de una buena planificación de población. El **material de construcción** con peso 8 también forma parte del factor socioeconómico que vuelve más robusta a una población costera por la resistencia que tiene ante las presiones laterales que ejercen los embates de fenómenos naturales.

La presencia de **dunas** mantiene estables a las playas de arena, ya que funcionan como reservas de sedimentos formando un ciclo que transporta la arena de la duna a la playa y viceversa. Del mismo modo el suministro de arena que proporcionan las dunas a la playa, disminuye la erosión de la costa al disipar la energía del oleaje. Por otra parte la vegetación en las dunas funciona como trampa de sedimentos y puede contribuir a reducir el impacto por oleaje del océano. Por esta razón las dunas tienen mayor jerarquía ya que sin ellas la vulnerabilidad aumenta dejando expuestos a los asentamientos humanos que están protegidos. Una de las características de la duna es su **altura**, que define el nivel de protección que le brinda a los bienes que se encuentran detrás. A esta característica se le asignó un peso de 7, mientras que a la presencia o ausencia de duna y duna con vegetación, se le asignó un peso de 6.

El **tipo de costa** permite evaluar la vulnerabilidad que presenta una población al estar asentada en estas zonas, así como también dependiendo del material que conforma una costa, se puede realizar una planificación espacial de la zona costera para reducir el embate de amenazas. Por ejemplo, la BPPT (Agencia de Evaluación y Aplicación de Tecnología) a partir del tipo de costa, propone la planeación de los elementos de la Figura 9 para proteger la infraestructura y asentamientos humanos que tiene incluidos a los ecosistemas costeros que este trabajo tienen menor jerarquía lo cual les hace depender del tipo de costa para reducir la vulnerabilidad.

(a)



(b)

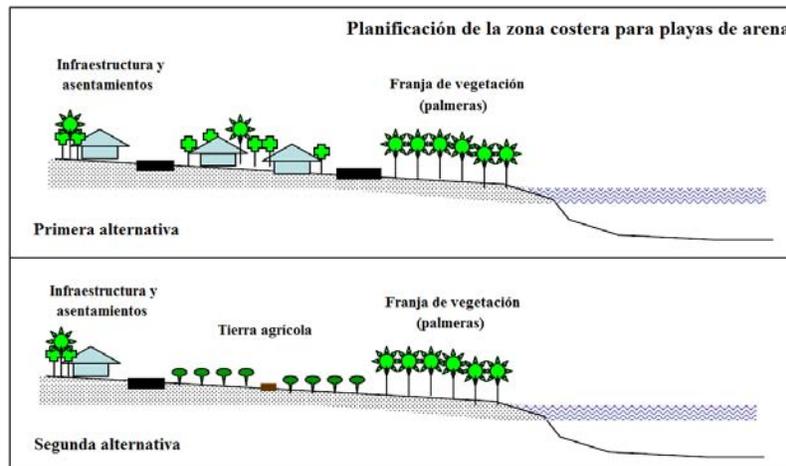


Figura 9 Alternativas para la planificación espacial de la zona costera dominada por costa de fango (a) y la playa de arena (b) (BPPT, 2005).

Por el lado ecológico es necesario que las poblaciones conserven un sistema de infraestructura verde como los bosques, humedales, dunas costeras y arrecifes de coral, que actúan como barreras de protección natural.

Para decidir si las protecciones naturales o artificiales ofrecen mayor protección a la población, se tomó en cuenta un estudio realizado por Badola y Hussain, 2005, donde las pérdidas económicas calculadas en una población protegida por una estructura artificial fueron mayores (USD \$154), en comparación con las pérdidas económicas que presentó una población protegida por bosques de manglar (USD \$33). Sin embargo, es necesario considerar que la protección que ofrecen los ecosistemas naturales ocurre siempre y cuando existan y se encuentren en las condiciones necesarias para ofrecer correctamente ese

servicio ecosistémico. Si una población está expuesta a sufrir daños ante fuertes intensidades de los peligros, aun contando con la presencia de estos sistemas naturales, entonces sería necesario implementar la protección de una estructura artificial que disminuya de manera eficaz la vulnerabilidad que presenta dicha población.

Las **estructuras de protección artificial** como diques, espigones, malecones, etc. son estrategias de protección costera, que generan confianza a los pobladores de establecerse en zonas de peligros costeros pero que implican inversiones cuantiosas. Tal es el caso de Nueva Orleans que, luego del paso de Katrina en el 2005, dejó como lección aprendida por parte de la Academia Nacional de Ingeniería de los EUA que: “Los riesgos de inundación jamás se pueden eliminar por medio de estructuras protectoras, no importa que tan grandes o resistentes sean” (Committee on New Orleans Regional Hurricane Protection Project, 2009) citado en (Yáñez, 2010). Analizando las propiedades físicas de las estructuras de protección artificial es claro que ofrecen mayor resistencia ante el embate de los fenómenos naturales, que los propios ecosistemas costeros naturales. Por tal motivo en este estudio se consideró con mayor jerarquía a las protecciones artificiales (peso 4) que al manglar, vegetación y arrecifes de coral.

Los humedales tienen el papel de amortiguadores de los efectos de los fenómenos naturales. El manglar se propuso con peso 3 antes que la vegetación, porque ofrecen muchos servicios ambientales, como por ejemplo el control de inundaciones ya que se encuentran en las zonas de transición entre los sistemas marinos y terrestres. La protección que brinda el manglar a la población mexicana es amortiguar las inundaciones que se propician tierra adentro.

Una franja de vegetación densa de 200 m es una barrera de protección natural que permite salvaguardar los bienes que se encuentran detrás. Por ejemplo, ante el tsunami del 2005 en Tjut Nya Dien se encontraba la pista de un aeropuerto situada a 500 m de la línea de costa, la cual fue protegida por una franja de vegetación mixta de palmeras y árboles de casuarina; no se reportó ningún daño. La vegetación se asignó con el peso 2 en este trabajo.

Para que los arrecifes de coral tengan un crecimiento adecuado necesitan los nutrientes necesarios que les proporciona el manglar, es por ello que al manglar se le asignó una mayor jerarquía que al arrecife de coral. Los manglares también apoyan en la restauración de las poblaciones de peces del arrecife de coral, es decir, ayudan a regularizar los ecosistemas que se alteran con los disturbios ocasionados por huracanes u otras tormentas. Los arrecifes de coral tienen un grado 1 de jerarquía.

Es necesario mencionar que los ecosistemas naturales costeros dependen unos de otros, es decir, si un ecosistema se altera genera cambios en otro ecosistema que lo vuelven más vulnerable y disminuye la capacidad de protección natural que brinda como servicio ecosistémico a la población. Es por ello que los estudios que se han realizado no muestran una

diferencia en el grado de protección que ofrecen. Sin embargo, en este trabajo se asignaron los pesos de las últimas tres variables conforme al registro de los datos de daños históricos que se han registrado que se describen en el siguiente apartado.

Se escogieron estas dos opciones de jerarquía de variables, porque las otras 6 propuestas que estaban ordenadas dando mayor prioridad a las protecciones naturales antes que a las características físicas de la población. Dichas propuestas arrojaron resultados no acordes con la realidad, por ejemplo, le daban una vulnerabilidad alta a ciudades como Tijuana que presenta un riesgo a inundación del 17 % de la superficie total, lo cual no es una vulnerabilidad alta (Romo, 1996). Estas propuestas desechadas también elevaban los valores de la vulnerabilidad alta, cercana a 50 % o aún mayor, lo cual sirvió para descartarlas de las opciones finales.

Las dos opciones elegidas muestran los valores de la Tabla 9 en los porcentajes de rangos de vulnerabilidad que se establecieron para todas las opciones.

Tabla 9 Porcentajes de daño en cada propuesta.

Porcentajes de vulnerabilidad (Opción 3)		Porcentajes de vulnerabilidad (Opción 8)	
Alta	24 %	Alta	22 %
Media	70 %	Media	72 %
Baja	6 %	Baja	6 %

Para seleccionar entre una de las opciones anteriores, se representaron gráficamente en un mapa que mostró mejores resultados en la opción 8, por lo cual esta jerarquía fue la que se utilizó en este trabajo.

Al definir el orden de los pesos de las variables se observó el siguiente comportamiento:

- El cambio de peso entre las variables cota de elevación sustituida por la distancia, no crea cambios significativos, es decir, provoca bajos cambios en los porcentajes de niveles de vulnerabilidad. Haciendo que la vulnerabilidad alta incremente un 0.7 %, la moderada disminuya también 0.7 % y el nivel de vulnerabilidad baja cambie 0.1 %.
- Si se les asignaba mayor peso a las variables que representan las características físicas de la población como densidad, tipo de infraestructura y material de vivienda, el porcentaje de vulnerabilidad alta, disminuye de un 10 a 25 %.
- La propuesta 6 que era 12.-Distancia, 11.- Elevación, 10.- Altura de duna, 9.- Duna, 8.- Tipo de costa, 7.- Manglar, 6.- Vegetación, 5.- Arrecifes de coral, 4.- Protección artificial, 3.- Densidad de población, 2.- Tipo de Infraestructura y 1.- Material de Vivienda, provocó que el porcentaje de vulnerabilidad alta fuera la mayor de todas las propuestas (52 %) y así mismo fue la propuesta que asignaba el menor peso en la densidad de población (3). La

propuesta 1 que le dio un peso a la densidad de población de 4, arrojó como resultado en el porcentaje de vulnerabilidad alta 46.8 %. Concluyéndose que uno de los elementos a los que la vulnerabilidad es más sensible es la variable densidad de población.

- El cambio en el peso de la protección artificial, disminuye la vulnerabilidad alta en un 2 % aproximadamente, mientras que la vulnerabilidad baja se mantiene, porque aumenta el valor mínimo del índice que puede tener una población, lo cual al entrar en el rango establecido de los niveles de vulnerabilidad, hace que pocas poblaciones tengan vulnerabilidad baja.

4.6 Valor de los índices de cada variable con base en los datos de daños históricos

Los índices de las variables que permiten evaluar la vulnerabilidad de la población mexicana se propusieron a partir del análisis de los datos de daños históricos provocados a población por fenómenos naturales.

Se buscó, en la medida de lo posible, que la comparación de los daños históricos fuera a partir de fenómenos naturales ocurridos con la misma intensidad en zonas costeras. Este análisis se concentra en justificar los daños ocurridos en la clasificación de las variables de la población. Por ejemplo: ubicar los daños que provocó un huracán con la misma intensidad en poblaciones rurales y urbanas, identificando la población con mayores daños, la causa de esos daños y finalmente asignar un índice con respecto a las afectaciones. Si los daños fueron totales, entonces se asignará un índice con valor 1 y la escala bajará de acuerdo al porcentaje de daños. El tsunami del 2004 es un fenómeno que presentó intensidades muy altas y por lo tanto los daños registrados reflejan el peor de los casos.

Reseñas de desastres naturales históricos

Tsunami, 2004

El terremoto de magnitud 9.3 en escala de Richter (Kamdasamy y Rajendran, 2005), ocurrido en la costa oeste de la parte norte de la Isla de Sumatra; causó la ruptura de la corteza en el Océano Índico; desencadenando un tsunami que cruzó el océano en cuestión de horas, lo cual provocó daños en Nanggroe Aceh Darusalam (NAD) y provincias del Norte de Sumatra.

Se destruyeron 120295 hectáreas y el saldo de muertos o desaparecidos sobrepasó las 220000 personas, dejando sin hogar a más de 400000 personas de los 15 distritos (Shofiyati et al., 2005). Para identificar el área destruida en NAD y el Norte de Sumatra, varias instituciones como el Instituto Nacional de Aeronáutica y Espacio de Indonesia (LAPAN), el Instituto de Investigación de Suelos de Indonesia (ISORI) y la Agencia de Evaluación y Aplicación de Tecnología (BPPT), han evaluado los daños causados en el área afectada por

medio de teledetección, técnicas con GIS (Sistemas de información geográfica), interpretación visual de Landsat TM, IKONOS y simulaciones usando DEM (Modelos digitales de elevación) (Shofiyati et al., 2005). El tsunami de 2004 también causó la destrucción de gran parte de las costas del sur de la India, específicamente en Tamil Nadu (Mascarenhas y Jayakumar, 2007).

Huracán Katrina, 2005

El Huracán Katrina que tocó dos veces tierra en los Estados Unidos, el 24 y 29 de agosto del 2005. La primera vez en la península de Florida con categoría H1 y la segunda vez entró a tierra con categoría H3 y H4 por el Golfo de México a lo largo del límite entre los estados de Luisiana y Mississippi. El huracán pasó aproximadamente a 73 km de la ciudad de Biloxi, Mississippi, afectando a la población costera por viento, fuerte oleaje, inundación y transporte de escombros hasta cientos de metros tierra adentro (Fratta y Santamarina, 2006).

Huracán Wilma, 2005

El Huracán Wilma azotó los estados de Quintana Roo, Yucatán y tocó tierra en Cuba, entre el 21 y 24 de octubre del 2005 (CENAPRED, ISEGOB y CEPAL, 2006). De categoría 5 (NOAA) y oleaje de 20 m de altura (Silva et al., 2009), provocó la desaparición de casi 13 km de playas, con efectos devastadores en los lugares donde las dunas costeras habían desaparecido a causa de la construcción de infraestructura hotelera (SEMARNAT, 2013). Así se reportaron 76 localidades afectadas, las cuales representan el 75 % de la población del estado de Quintana Roo y el 98 % de la infraestructura hotelera (Zenteno et al., 2006.).

Huracán Kenna, 2002

El huracán Kenna que alcanzó la categoría H5, durante el periodo del 21 al 25 de octubre del 2002, tocó tierra en San Blas, Nayarit, ocasionando un impacto social y económico muy fuerte, con 30 mil damnificados, 2 pérdidas humanas y 17000 viviendas afectadas, que representaban el 95 % de la población, y daños económicos de 150 millones de dólares. El oleaje penetró 100 m en tierra, provocando la pérdida total en los campamentos de tortugas, daños en manglares, viveros y marismas, así como más de 2000 árboles derribados (Palafox y Gutiérrez, 2013).

Frente frío número 4, 2007

El frente frío número 4, provocó constantes lloviznas de fuerte intensidad en Tabasco y Chiapas del 22 al 29 de octubre de 2007. Los daños y pérdidas ocasionadas por la inundación fueron principalmente en Tabasco, que se considera una planicie aluvial de inundación con reducida elevación sobre el nivel medio del mar. Las inundaciones dejaron 1.5 millones de damnificados, que representan el 75 % de la población del estado; 132 puentes dañados, casi 6500 km de carreteras y caminos afectados, que son el 73 % de la red

del estado, 570000 ha agrícolas siniestradas y 123 mil viviendas con afectaciones (SEGOB, CEPAL, CENAPRED y Gobierno del Estado de Tabasco, 2008).

El frente frío número 4 combinado con la tormenta tropical “Noel”, provocó constantes lluvias de fuerte intensidad en Tabasco y Chiapas del 22 al 29 de octubre de 2007. Los daños y pérdidas ocasionadas por la inundación fueron principalmente en Tabasco, que se considera una planicie aluvial de inundación con reducida elevación sobre el nivel medio del mar. Las inundaciones dejaron 1.5 millones de damnificados, que representan el 75 % de la población del estado; 132 puentes dañados, casi 6500 km de carreteras y caminos afectados, que son el 73 % de la red del estado, 570000 ha agrícolas siniestradas y 123 mil viviendas con afectaciones (SEGOB, CEPAL, CENAPRED y Gobierno del Estado de Tabasco, 2008).

Huracán Juliette, 2001

La depresión tropical Juliette paso a una distancia de 15 km de la costa nacional, al sureste de Puerto Libertad, Sonora (Hernández y Bravo, 2010); los días del 29 de septiembre al 1 de octubre del 2001. Juliette generó precipitaciones que alcanzaron hasta 273 mm en el Valle de Yaqui, 380 mm en el Valle de Mayo y 327 mm en el Valle de Guaymas y cuenca del arroyo Matapé, que provocaron avenidas extraordinarias e inundaciones en varias regiones de Sonora (Bitrán et al., 2002).

Ciclón tropical Aivu, 1989

El 4 de abril de 1989, el ciclón tropical Aivu provocó fuertes vientos y lluvias en la costa noreste de Queensland, con un diámetro de 22 a 30 km en el ojo del ciclón. Sólo una muerte fue reportada. Sin embargo, el ciclón destruyó el 10 % del territorio de la cosecha de caña de azúcar (Longshore, 2008).

Huracán Liza, 1976

El huracán Liza en 1976 de categoría 4 (NOAA) impactó Baja California Sur y Sonora, ocasionando la muerte de 600 personas en la Paz, Baja California y en áreas cercanas (CENAPRED, 2004).

Valor de los índices de cada variable de la población

Material de vivienda

Tsunami, 2004

LAPAN, 2005 realizó una valoración de los asentamientos en la ciudad de Banda Aceh, que es una de las áreas más afectadas por el tsunami del 2004. El campo de observación lo realizó el equipo de la Agencia de Evaluación y Aplicación de Tecnología (BPPT),

clasificando los daños de edificios en 4 patrones (A, B, C y D) que corresponden a sus características estructurales (Figura 9). Se consideran 2 zonas de daño, la primera corresponde a los daños causados por el impacto directo de la energía de la ola (I - área severa) y la segunda es la inundación y depósito de escombros (II - área de riesgo) (Shofiyati et al., 2005).

Tabla 10 Patrones de daños de construcción.

Áreas	Zona	Porcentaje de daños de construcción			
		A	B	C	D
Área Urbana	I	95 %	90 %	80 %	75 %
Área Rural (sitio 1)		98 %	93 %	75 %	60 %
Área Rural (sitio 2)		98 %	90 %	70 %	60 %
Área Urbana	II	95 %	80 %	70 %	65 %
Área Rural (sitio 1)		88 %	75 %	60 %	40 %
Área Rural (sitio 2)		85 %	70 %	50 %	40 %

Modificado de Shofiyati et al., 2005.

La construcción de madera (A) sufre los efectos más destructivos, seguida por la construcción semipermanente (B), construcción de concreto reforzado menor a 20 cm de espesor (C) y la construcción de concreto reforzado mayor a 20 cm de espesor (D) .

Con base en la Tabla 10, se realizó un promedio de la columna A para obtener el porcentaje de daño que sufrió una estructura de madera, y un promedio de los daños en las columnas B, C y D considerados como parte de las construcciones de concreto. Los daños obtenidos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 Daños en vivienda de acuerdo al material de construcción.

Madera	Concreto
93.17 %	69.05 %

Huracán Katrina, 2005

El huracán Katrina causó gran destrucción en la ciudad de Biloxi, Mississipi, principalmente en las viviendas situadas en las zonas con mayor profundidad de inundación. El huracán arrasó las construcciones de madera ubicadas en la franja costera del Golfo de México, dejando sólo los cimientos. La creciente del agua excedió los 6.7 m y ejerció cargas laterales que produjeron la falla en las construcciones de madera. Estas construcciones sufrieron el mayor daño, siendo viviendas, hoteles pequeños y condominios. Las nuevas construcciones de madera ubicadas sobre la bahía de Biloxi sufrieron daños por inundación, pero permanecieron de pie ancladas a sus cimientos. La mayor parte de las estructuras de concreto, ubicadas sobre la costa del Golfo de México resistieron el fuerte

oleaje, la inundación y el viento. La mampostería quedó destruida hasta el segundo o tercer nivel, es decir, hasta el nivel que llegó la inundación (Fratta y Santamarina, 2006).

En la Tabla 12 se proponen índices de vulnerabilidad a partir del daño que sufrieron las viviendas en su material de construcción, por el huracán Katrina en 2005 y el tsunami del 2004 que presentó máximas intensidades.

Tabla 12 Índices de vulnerabilidad para material de vivienda.

Madera y otros	Concreto
0.9	0.2

Protección Natural (Duna)

Huracán Wilma, 2005

Cozumel forma parte de las ciudades importantes de Quintana Roo y a su vez, se ubica en una zona propensa a desastres naturales. En el ámbito ecológico cuenta con dunas frontales que presentan vegetación (Martínez et al., 2004). El Huracán Wilma en 2005, pasó sobre la isla de Cozumel con categoría 4, provocando que 786 viviendas fueran afectadas (CENAPRED, 2006). Para obtener el porcentaje de daño que sufrieron las viviendas pertenecientes al municipio de Cozumel, se calculó el número de viviendas que existían en el 2005, tomando en cuenta la tasa de crecimiento medio anual en el periodo 2000-2010 y el número de viviendas estimadas en el 2010 (33240 viviendas), que son la suma de las viviendas habitadas, deshabitadas y de uso temporal de Cozumel (INEGI, 2011). Dichos datos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Viviendas afectadas en el municipio de Cozumel por el huracán Wilma, 2005.

Número de viviendas en 2010	Tasa de crecimiento anual (periodo 2000- 2010)	Incremento de viviendas en 5 años	Número de viviendas en 2005	Total de viviendas afectadas	Porcentaje de viviendas afectadas
33240	4 %	6648	26592	786	3%

El cálculo anterior arroja como resultado que un 3 % de las viviendas de la Isla de Cozumel fueron afectadas por el Huracán Wilma en 2005.

Huracán Kenna, 2002

La población urbana de Nayarit es de 19289 habitantes, concentrada en 2 ciudades (La Peñita de Jaltempan y San Blas). Los asentamientos rurales están dispersos por las costas nayaritas en 45 localidades, aunque no suman 20000 habitantes. Desafortunadamente en 2002, el municipio de San Blas fue impactado por el huracán Kenna con categoría 4, provocando el daño de 95 % de las viviendas (Palafox y Gutiérrez, 2013). San Blas cuenta con planicies de dunas frontales. Dichas dunas están predominantemente llenas de vegetación, lo cual provoca que sean semimóviles y en su mayoría estabilizadas. Sin embargo, en un análisis realizado a las dunas costeras de México, se especifica que la ciudad de San Blas perdió el servicio de protección de la línea de costa por haber abatido sus dunas costeras (SEMARNAT y CONAFOR, 2014). Por ello se considera que los daños ocurridos a los asentamientos en San Blas, por el huracán Kenna, se deben en gran medida a la ausencia de protección natural.

En la Tabla 14 se muestra el resumen de los daños a la población por el huracán Wilma en Cozumel, Quintana Roo y el huracán Kenna en San Blas, Nayarit.

Tabla 14 Porcentajes de daños en viviendas por el huracán Kenna, 2002 y Wilma, 2005.

Con duna y vegetación	Sin duna
3%	95%

En función de los daños anteriores, se propone un índice de vulnerabilidad para la infraestructura de las poblaciones que cuentan con duna, duna con vegetación y sin duna. Sin embargo, se estima que el valor del índice de vulnerabilidad de una población con duna, debe ser mayor al que presenta una población que tiene duna con vegetación y menor al valor de ausencia de duna. En la Tabla 15, se muestran los índices propuestos.

Tabla 15 Índices de vulnerabilidad para una población con protección natural (duna).

Sin duna	Con duna	Duna con vegetación
1.0	0.5	0.2

Altura de duna

Tsunami, 2004

Se realizaron investigaciones de campo en el estado de Tamil Nadu de la India, para conocer el daño que ocasionó el tsunami de diciembre del 2004. Este evento extremo causó grandes daños a los bienes de alto nivel económico con la destrucción de dunas costeras y su vegetación, que provocaron la creación de nuevos cuerpos de agua. En Tamil Nadu se

presentaron 3 casos: el primero es considerar despreciable la energía de la ola al impactar contra complejos cordones de dunas altas, el segundo fue encontrar aldeas intactas al haber sido protegidas por bosques densos y dunas de arena; y el tercer caso es la destrucción máxima de la playa abierta que posee una intensa actividad humana.

Mascarenhas y Jayakumar, 2007 presentan el siguiente análisis:

Se efectuaron 2 mediciones (abril del 2005 y enero del 2006) en 5 sitios costeros para obtener 5 perfiles de playa, los cuales se obtuvieron a partir de 24 estaciones situadas a lo largo de la costa de Tamil Nadu, después del tsunami. Los estudios en esta zona se realizaron para obtener límites de la inundación, el run-up de la ola en diferentes puntos y medir los perfiles de playa.

En el perfil de **Uroor Alcott Kuppam** se midieron dunas de 4.5 m de altura, las cuales protegieron la infraestructura que se encontraba detrás de dichas dunas, ante el embate de un run - up de 5 m del tsunami.

En **Nanjalingampettai** la costa está caracterizada por dunas mayores a 5 m de altura. La ola del tsunami con un run - rush de 3.7 m fue detenida en la duna y no ocasionó ningún daño en las viviendas situadas detrás de los complejos de estas dunas. Sin embargo, hubo una inundación de 372 m de longitud que se atribuyó al pisoteo y maltrato de las dunas.

Las dunas de **Tarangambadi** fueron niveladas, dando prioridad a los asentamientos humanos, es decir, a un conjunto de viviendas densas que se asentaron a la orilla de la costa. El run - up de la ola de 2.4 m destruyó todo lo que encontró a su paso, provocando una longitud de inundación de 401 m. De esta forma todas las casas que se encontraban frente a la playa, desaparecieron por la carencia de una protección natural en esta zona.

Las playas de **Samanthanpettai** están caracterizadas por dunas altas. El up-rush de la ola de 3.2 m provocó una inundación mayor a 150 m de longitud. Las viviendas frontales fueron destruidas, sin embargo, los bienes que se encontraban detrás de las dunas permanecieron intactos debido a la protección de amortiguación natural que ofrecen las dunas de arena. En Nambiar Nagar, ubicada a 3 km al sur de Samanthanpettai, las dunas altas brindaron una completa protección para una villa entera, donde sólo una casa que se encontraba ubicada sobre la duna fue impactada.

En **Velankanni**, las dunas de arena fueron destruidas o niveladas para colonizar la playa por estructuras improvisadas. El run-up de la ola de 3.9 m destruyó todas las estructuras que se encontraban a su paso por la playa. La longitud de la inundación fue de 325 m tierra adentro. Esto provocó que todas las construcciones frente a la playa, ubicadas en una franja de 100 m de ancho, fueran lavadas en su totalidad debido a la ausencia de protección natural. En ese lugar fueron reportadas alrededor de 900 muertes.

El resumen de los daños provocados en los lugares anteriores se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16 Daños ocasionados a la población en relación a la altura de duna.

Sitios afectados	Altura de la duna	Altura de ola	Daños	Longitud de inundación
Uroor Alcott Kuppam	4.5 m	5 m	Sin daños	-
Nanjalingampettai	Mayor a 5 m	3.7 m	Sin daños	372 m
Tarangambadi	Sin duna	2.4 m	100%	401 m
Samanthanpettai	Dunas altas	3.2 m	100% viviendas frontales Sin daños en la infraestructura ubicada detrás de la duna	Mayor a 150 m
Velankanni	Sin Duna	3.9 m	100% daños	325 m

Con los datos de la Tabla 16 se proponen los índices para la variable altura de duna (Tabla 17).

Tabla 17 Índices de altura de duna de acuerdo a los daños presentados por el tsunami del 2004.

Altura de duna	Menor o igual a 2 m	Mayor a 2 m y menor o igual a 5 m	Mayor a 5 m
Índices de vulnerabilidad	0.9	0.5	0

Tipo de Infraestructura

Frente frío No. 4, 2007

El frente frío número 4, provocó inundaciones que cubrieron el 62 % de la superficie estatal; afectando cerca de 1500 localidades de las cuales el 90 % eran rurales (SEGOB, CEPAL, CENAPRED y Gobierno del estado de Tabasco, 2008). De esta manera, se considera que el 10 % restante de la población, es urbana. Por lo tanto, en la Tabla 18, se muestran los daños a la población rural y urbana.

Tabla 18 Daños a la población de acuerdo al tipo de infraestructura (Frente frío número 4).

Rural	Urbana
90%	10%

Por lo tanto se propone el índice de vulnerabilidad de la Tabla 19.

Tabla 19 Índice de vulnerabilidad de la población de acuerdo a su infraestructura.

Rural	Urbana
1.0	0.1

Tipo de Playa

Tsunami, 2004

La Agencia de Evaluación y Aplicación de Tecnología (BPPT, 2005), hizo una visita a Meulaboh, West Aceh (ciudad devastada por el tsunami de diciembre del 2004), que se realizó del 20 de enero al 4 de febrero de 2005. Con base en los resultados obtenidos por BPPT, se desarrolló una clasificación del área de daño en las zonas costeras basado en la tipología de la costa (Shofiyati et al., 2005). Dicha clasificación se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20 Nivel de daño de acuerdo a la tipología de la costa.

Tipo de costa	Nivel de daño
Costa fangosa	Severo
Playa arenosa y grava	Moderado
Playa rocosa	Bajo
Playa montañosa (acantilado)	
Playa montañosa	

Modificado de Shofiyati et al., 2005.

Con base en la Tabla 20 se asignan índices para cada nivel de daño relacionado con el tipo de costa (Tabla 21).

Tabla 21 Índices de vulnerabilidad de acuerdo al tipo de costa.

Nivel de daño	Costa de fango	Playa de arena o grava	Acantilado, cantil o playa rocosa
Índice de vulnerabilidad	1	0.7	0.2

Distancia

Tsunami, 2004

Se realizó un estudio de valoración de pérdidas en 18 aldeas costeras de pescadores, ubicadas a lo largo de 25 km de la costa sureste de la India en Parangipettai, Tamil, las

cuales fueron afectadas por el tsunami de diciembre de 2004. Asimismo, el estudio incluyó un complejo estuario formado de 2 estuarios llamados el Vellar y el Coleroon y dos formaciones de manglar, una desarrollada naturalmente en Pichavaran con un área de 11 km² y la otra desarrollada por un equipo de investigadores desde 1992 a lo largo del estuario Vellar. Dicho estudio se enfoca en la importancia de la vegetación de manglares costeros y las características de ubicación de los asentamientos humanos (distancia al mar y altitud de la población), para proteger las vidas humanas y propiedades, de las intensidades que provoca un tsunami (Kamdasamy y Rajendran, 2005).

En la Tabla 22 se muestran las pérdidas económicas que sufrieron las 18 aldeas costeras existentes a lo largo de la costa Parangipettai, estado de Tamil Nadu, India y sus características como distancia al mar y altitud. Así mismo la Tabla 23, muestra los porcentajes de pérdidas de las aldeas, de acuerdo a un rango de distancias.

Tabla 22 Pérdidas económicas de 18 aldeas de la costa de Parangipettai, estado de Tamil Nadu, India (Tsunami, 2004).

Aldeas de pescadores	Distancia del mar (km)	Elevación del NMM (m)	Pérdidas (US \$)	Pérdidas de chozas y herramientas de pesca (%)
1	0.3	2	511	8.61
2	0.3	3	244	4.11
3	0.4	0.8	333	5.61
4	0.4	2	267	4.50
5	0.7	1	244	4.11
6	0.7	3.3	444	7.48
7	2	2	18	0.30
8	1	4	378	6.37
9	0.2	0.5	1000	16.84
10	0.4	4	289	4.87
11	0.1	0.8	956	16.10
12	1	1	222	3.74
13	0.1	0.5	489	8.24
14	2.5	2	44	0.74
15	2.5	1	44	0.74
16	0.15	0.5	267	4.50
17	0.15	0.5	178	3.00
18	2	1	9	0.15
		Pérdida total (US \$)	5937	100

Modificado de Kamdasamy y Rajendran, 2005.

Tabla 23 Porcentaje de pérdidas en las aldeas de pescadores de acuerdo a su distancia obtenida a partir de la Tabla 22.

	Distancias	Pérdidas (%)
	Mayor a 0 y menor o igual a 500 m	76.37
	Mayor a 500 m y menor o igual a 1 km	21.69
	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	1.94
	Mayor a 4 km	0

De esta forma, en la Tabla 24 se proponen los índices de vulnerabilidad de la población de acuerdo a un rango de distancias.

Tabla 24 Índice de vulnerabilidad de la población de acuerdo a su distancia a partir de la línea de costa.

Distancias	Menor o igual a 500 m	Mayor a 500 m y menor o igual a 1 km	Mayor a 1km y menor o igual a 4 km	Mayor a 4 km
Índices de vulnerabilidad	0.9	0.7	0.5	0

Cota de elevación

Tsunami, 2004

Los valores para representar la cota de elevación se tomaron de los porcentajes de pérdidas presentadas en la Tabla 22. De acuerdo con la altitud de las 18 aldeas de pescadores, se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25 Porcentaje de pérdidas en las aldeas de pescadores de acuerdo a su altitud.

Altitud (m)	Pérdidas (%)
Menor o igual a 1 m	63.03
Mayor a 1 y menor o igual a 4 m	36.97
Mayor a 4 m	0

Con base en los porcentajes de pérdidas anteriores, se establecieron índices de vulnerabilidad de la población de acuerdo a su cota de elevación sobre el nivel medio del mar (Tabla 26).

Tabla 26 Índices de vulnerabilidad de la población para la variable cota de elevación.

Altitud (m)	Menor o igual a 1 m	Mayor a 1 m y menor o igual a 4 m	Mayor a 4 m y menor o igual a 10 m	Mayor a 10 m
Índices de vulnerabilidad	0.9	0.5	0.2	0

Manglar

Desde 1930, más de 388.500 hectáreas de humedales con gran vegetación se han perdido a lo largo de la costa de Louisiana. Actualmente estas pérdidas continúan en una proporción aproximada de 6000 a 7780 hectáreas por año. La falta de humedales costeros hace a Nueva Orleáns cada vez más vulnerable al daño por huracanes (Consejo de Construcción Verde España, 2005).

Huracán Katrina, 2005

El 53 % de la población de Estados Unidos vive dentro de los primeros 40 km de área costera. La crecida que provocó la tormenta del huracán Katrina fue de 9 m y alcanzó 16 km hacia el interior de la tierra. Esto ocasionó la muerte del 0.37 % de los habitantes de Nueva Orleáns y que el 80 % de la ciudad se inundara (Consejo de Construcción Verde España, 2005). Si los humedales que circundan Nueva Orleáns, no hubieran sido modificados artificialmente, los efectos del huracán Katrina serían mucho menores.

Tsunami, 2004

En la Tabla 27 , se observa que las aldeas de pescadores 7 y 14 no sufrieron pérdidas humanas, mientras que la 12, 15 y 18, tuvieron pérdidas menores, ya que todas estas aldeas cuentan con bosques densos de manglar.

El resto de las aldeas presentó mayores daños y pérdidas humanas atribuyendo estas consecuencias a la ausencia del manglar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el grado de protección que brindan los bosques de manglares, también depende de otras características, como por ejemplo: la distancia de la población al mar, la altitud y las condiciones propias del mangle.

Tabla 27 Porcentajes de pérdidas en las aldeas de pescadores, considerando la protección natural del manglar.

Aldeas de pescadores	Vegetación costera. Naturaleza del hábitat	Pérdidas de vidas humanas	Pérdidas (US \$)	Pérdidas (%)
1	Playa de arena con dunas de arena medias	16	511	8.61
2	Playa de arena con dunas de arena medias	12	244	4.11
3	Playa de arena de baja altitud, con dunas embrionarias	72	333	5.61
4	Arena con dunas de arenas medias	24	267	4.50
5	Arena con dunas traseras	19	244	4.11
6	Playa de arena con dunas de arena medias	14	444	7.48
7	Playa fangosa con manglares densos	0	18	0.30
8	Playa de arena elevada con dunas traseras	0	378	6.37
9	Playa de arena de baja altitud, con dunas embrionarias	55	1000	16.84
10	Playa de arena de pendiente elevada con dunas de arena medias	4	289	4.87
11	Baja altitud y playa arenosa	96	956	16.10
12	Playa de barro, de arena con manglares arbustivos	11	222	3.74
13	Playa arenosa de baja altitud	55	489	8.24
14	Playa pantanosa con manglares densos	0	44	0.74
15	Playa pantanosa con manglares densos	10	44	0.74

Continuación de la **Tabla 27** Porcentajes de pérdidas en las aldeas de pescadores, considerando la protección natural del manglar.

Aldeas de pescadores	Vegetación costera. Naturaleza del hábitat	Pérdidas de vidas humanas	Pérdidas (US \$)	Pérdidas (%)
16	Playa arenosa de baja altitud	80	267	4.50
17	Playa arenosa de baja altitud	110	178	3.00
18	Playa pantanosa con manglares densos	5	9	0.15
		Pérdida total	5937	100

Modificado de Kamdasamy y Rajendran, 2005.

En la Tabla 28, se muestran los rangos de daño que sufrieron las aldeas con manglar y sin manglar.

Tabla 28 Porcentaje de pérdidas ocasionadas por el tsunami del 2004 en las 18 aldeas de pescadores, ante la presencia o ausencia del manglar.

Aldeas con manglar	Rango de pérdidas (%)	Aldeas sin manglar	Rango de pérdidas (%)
7, 12, 14, 15 y 18	0.15 - 3.74 %	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 16 y 17	3.0 - 16.84%

De acuerdo con los porcentajes de pérdidas mayores que presentan las aldeas sin manglar, se proponen los índices de vulnerabilidad de población en la Tabla 29.

Tabla 29 Índices de vulnerabilidad de la población ante la presencia o ausencia de manglar.

Sin manglar	Con manglar
0.9	0.2

Arrecifes de Coral

Ciclón tropical Aivu, 1989

La altura de ola de 10 m fue reducida cerca de 6 m después de pasar sobre los arrecifes de coral (Young y Hardy, 1993).

Tsunami, 2004

Sri Lanka es uno de los países que fueron afectados por el tsunami del 2004. La primera ola alcanzó las costas de Sri Lanka 100 minutos después del terremoto. La altura de ola alcanzó entre 5.5 y 6.5 m. Se observaron diferentes patrones de inundación y de daño a lo largo de la costa, que se atribuyen a la presencia o ausencia de coral y arrecifes de roca en altamar. La infraestructura de Hikkaduwa fue protegida por los arrecifes de coral que la comunidad local protege y nutre. En la zona de Hikkaduna a Dodanduwa, a unos 6 km al sur, se registraron pocos daños y pocas muertes. Sin embargo, desde el norte de Hikkaduna a Akuralla, los daños y pérdidas de vidas humanas fueron mayores por la ausencia de arrecifes de coral (Srinivas y Nakagawa, 2007).

De esta forma, con los datos mencionados anteriormente, se proponen los índices de vulnerabilidad de la Tabla 30, ante la presencia o ausencia de arrecifes de coral.

Tabla 30 Índices de vulnerabilidad de la población ante la presencia o ausencia de arrecifes de coral.

Sin arrecifes de coral	Con arrecifes de coral
0.9	0.2

Vegetación

Tsunami, 2004

La costa de Tamil Nadu se caracteriza por tener grandes extensiones de bosques frondosos de casuarina. Dichos bosques densos presentan una capacidad natural para disipar la energía de grandes olas. Ante el tsunami de 2004, las villas fueron protegidas por los bosques densos, permaneciendo intactas. Las mediciones en campo revelaron que el impacto del tsunami con un run-up de hasta 6.5 m, afectó la franja frontal de la vegetación de 0 a 25 m (Mascarenhas y Jayakumar, 2007).

En **Uroor Alcott Kuppam** un conjunto denso de arbustos protegió de manera adicional a este lugar, que sufrió la llegada del tsunami con un run-up de 5m. No hubo destrucción en este lugar (Mascarenhas A, Jayakumar S., 2007).

En **Nanjalingampettai** las palmeras y casuarinas también actuaron como protección natural (Mascarenhas A, Jayakumar S., 2007).

La franja costera seguida a la línea de costa en **Tarangambadi** se encontraba ocupada por densas zonas de vivienda, las cuales no poseían ninguna protección natural, como dunas o vegetación. Sin embargo a 3 km al sur de **Nambiar Nagar**, los árboles contribuyeron a proporcionar una completa protección a una villa entera (Mascarenhas A, Jayakumar S., 2007).

Asimismo, el análisis por Laso Bayas en 2011 confirma que la presencia de vegetación costera redujo significativamente las víctimas causadas por el tsunami en Aceh, Indonesia. Una franja densa de palmeras cocoteras de 100 a 200 m de ancho, fue capaz de proteger la infraestructura y asentamientos ubicados a la distancia de 0.5 a 1 km de la costa (Laso Bayas, J.C., Marohn, C. and Dercon, G., 2011).

Con los datos anteriores se proponen los índices de vulnerabilidad de la Tabla 31 para la variable vegetación.

Tabla 31 Índices de vulnerabilidad ante la presencia o ausencia de vegetación.

Sin vegetación densa	Con vegetación densa
0.9	0.2

Protección artificial

Huracán Katrina, 2005

El huracán Katrina llegó a categoría 5 (en la escala de huracanes Saffir-Simpson) y tocó tierra con categoría 4, a 65 km de Nueva Orleans, el 29 de agosto del 2005 (Ulloa, 2014).

Nueva Orleans se encuentra construida, en su mayor parte, bajo el nivel del mar. Los daños que el huracán Katrina ocasionó en 2005 a esta ciudad se relacionan con la falla de un sistema de diques que se rompieron al no poder soportar la fuerza del agua que venía del lago Pontchartrain después de la tormenta, ocasionando la muerte de 1800 personas (HB, 2014). De esta forma se concluyó que un poco más del 80% de la población de Nueva Orleans quedó bajo el agua (Dolfman, 2007).

Huracán Liza, 1976

El huracán Liza generó una inundación relámpago en las montañas cercanas a La Paz, Baja California Sur, rompiendo el bordo de contención (dique), para dirigirse a la ciudad (Martínez y Mayer, 2004).

Este huracán provocó intensas precipitaciones que hicieron fallar uno de los bordos del arroyo el cajoncito, que se construyó porque la ciudad sufría problemas de inundaciones por el desbordamiento de este arroyo. Sin embargo, esto propició el crecimiento de asentamientos humanos en un tramo del antiguo cauce del Cajoncito. El 30 de septiembre de 1976 el huracán Liza produjo una avenida que hizo fallar el bordo que le brindaba protección a la zona urbanizada, lo cual ocasionó la pérdida de vidas humanas y daños materiales (CENAPRED, 2004).

Holanda

Los holandeses, que siempre han vivido en un delta, situado bajo el nivel del mar. Fueron sorprendidos por una tormenta del noroeste en febrero de 1953 cuando varios diques colapsaron y se dañaron debido a la pleamar máxima y olas extremas. Con base en este suceso, para ganar tierra al mar, los holandeses propusieron un proyecto que incluía la construcción de diques, compuertas y barreras para prevenir las inundaciones (Xbloc, 2006).

Con los datos citados anteriormente se puede concluir que si la capacidad de las obras de protección es insuficiente, propiciando una falla en su diseño, esto provocará daños muchas veces mayores a los ocasionados si no existiese, ya que normalmente estas fallas provocan inundaciones súbitas. No obstante, en el caso de Nueva Orleans y Holanda, que se encuentran bajo el nivel medio del mar, e incluso en la Paz y otros lugares, es necesario contar con estas estructuras de protección bien construidas, que permiten evitar daños y pérdidas humanas ante los fenómenos naturales.

En la Tabla 32 se proponen los índices para la variable protección artificial.

Tabla 32 Índice de vulnerabilidad de la variable protección artificial.

Sin protección artificial	Con protección artificial
1	0.5

Densidad

Tsunami, 2004

La densidad de población y ocio alrededor de las áreas costeras de la India, fue uno de los factores que contribuyeron a las altas tasas de muerte por el tsunami de 2004 en el océano Índico.

Para estimar, la densidad de población que tenían algunos lugares que sufrieron daños por distintos huracanes de categoría 4. Se realizó el resumen de la Tabla 33, con la información de algunos huracanes que ya se analizaron en distintas variables.

Tabla 33 Pérdidas humanas a causa de huracanes de categoría 4.

Nombre del huracán	Año	Lugar afectado	Pérdidas humanas	Densidad de población
Katrina	2005	Nueva Orleans, Luisiana, E. U.	1800	Aproximadamente 1200 hab/km ²
Liza	1976	La Paz, Baja California Sur, México	600	Aproximadamente. 3.2 hab/km ²

La Tabla 33 muestra una densidad de población mayor para Nueva Orleans, la cual tuvo más pérdidas humanas, al contrario de La Paz que poseía menor densidad de población. La determinación de una población dispersa y concentrada se explica en el apartado 4.3.

A continuación se proponen los índices de vulnerabilidad para la densidad de población en la Tabla 34.

Tabla 34 Índice de vulnerabilidad de acuerdo a la variable densidad de población.

Concentrada (Mayor o igual a 3000 hab/km ²)	Dispersa (Menor a 3000 hab/km ²)
0.9	0.2

La Tabla 35 muestra el resumen de los índices de vulnerabilidad de población propuestos en cada variable, donde, ICE índice de la cota de elevación, ID significa índice de distancia, IDP índice de densidad de población, ITI índice del tipo de infraestructura, IMV índice del material de vivienda, IAD índice de altura de duna, IDC índice de duna costera, ITC índice de tipo de costa, IPA índice de protección artificial, IM índice de manglar, IV índice de vegetación y por último IAC índice de arrecife de coral.

4.7 Cálculo del índice de vulnerabilidad de la población y la costa mexicana

El índice de vulnerabilidad de la población se obtuvo con la sumatoria ponderada de los 12 índices específicos de cada variable, multiplicada por su peso (Ecuación 4.1).

$$IVP = 12 * ICE + 11 * ID + 10 * IDP + 9 * ITI + 8 * IMV + 7 * IAD + 6 * IDC + 5 * ITC + 4 * IPA + 3 * IM + 2 * IV + 1 * IAC$$

Ecuación 4.1

donde IVP es el índice de vulnerabilidad de cada población costera.

De esta manera se establece que el mayor índice de vulnerabilidad que puede tener una población será 71.1, mientras que el menor será 9.9.

Tabla 35 Variables de la población.

Pesos	Variables	Clasificación de variables	Índices específicos
12	Cota de elevación	Mayor a 10 m	ICE=0
		Mayor a 4 m y menor o igual a 10 m	ICE=0.2
		Mayor a 1 m y menor o igual a 4 m	ICE=0.5
		Menor o igual a 1m	ICE=0.9
11	Distancia	Mayor a 4 km	ID=0
		Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km	ID=0.5
		Mayor a 500 m y menor o igual a 1 km	ID=0.7
		Menor o igual a 500 m	ID=0.9
10	Densidad	Concentrada	IDP=0.9
		Dispersa	IDP=0.2
9	Tipo de infraestructura	Urbana	ITI=0.1
		Rural	ITI=1.0
8	Material de vivienda	Concreto	IMV=0.2
		Madera y otros	IMV=0.9
7	Altura de duna	Mayor a 5 m	IAD=0
		Mayor a 2 m y menor o igual a 5 m	IAD=0.5
		Menor o igual a 2 m	IAD=0.9
6	Duna	Duna con vegetación	IDC=0.2
		Con duna	IDC=0.5
		Sin duna	IDC=1.0
5	Tipo de costa	Escarpada o rocosa	ITC=0.2
		Arena o grava	ITC=0.7
4	Protección artificial	Con protección artificial	IPA=0.5
		Sin protección artificial	IPA=1.0
3	Manglar	Con manglar	IM=0.2
		Sin manglar	IM=0.9
2	Vegetación	Con vegetación	IV=0.2
		Sin vegetación	IV=0.9
1	Arrecifes de coral	Con arrecife	IAC=0.2
		Sin arrecife	IAC=0.9

Capítulo 5. Análisis y resultados

5.1.1 Mapas de índices de vulnerabilidad de población costera

Los mapas de los índices particulares de las 12 variables que se utilizaron para evaluar la vulnerabilidad de la población costera mexicana, se muestran a continuación.

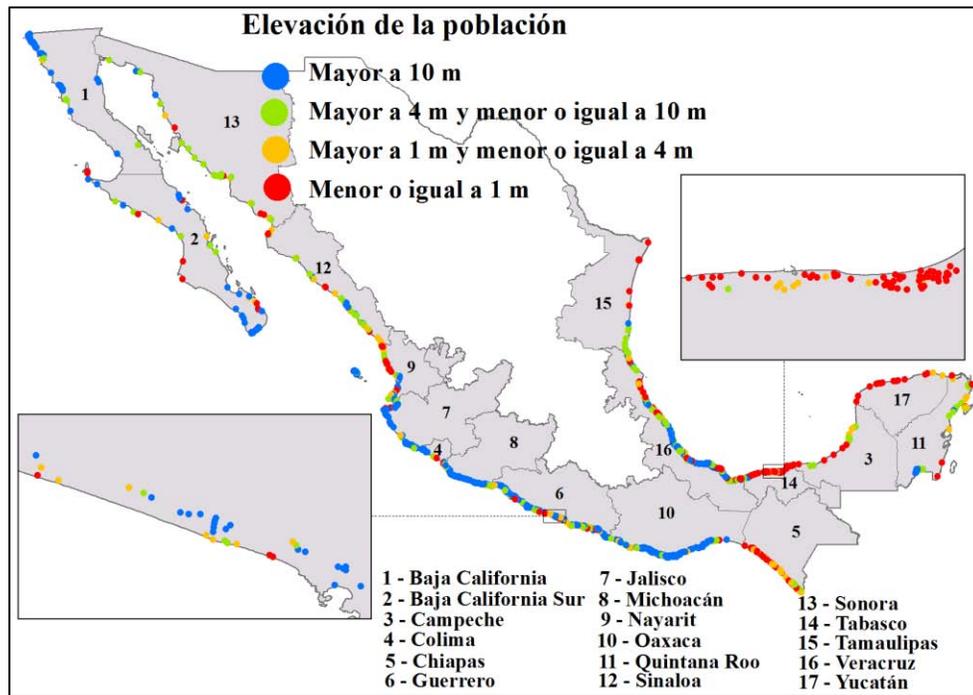


Figura 10 Distribución porcentual de la elevación de la población costera mexicana.

En México, un porcentaje considerable de la población está ubicada en zonas de baja elevación. Lo cual las convierte en zonas de alto riesgo a amenazas naturales, ocasionando que la población sea más vulnerable y este expuesta a sufrir graves daños. Del total de localidades de la República Mexicana registradas en la base de datos de CONABIO en el 2010, 12627 localidades se ubican en zonas de baja elevación, que representa el 6.6 %.

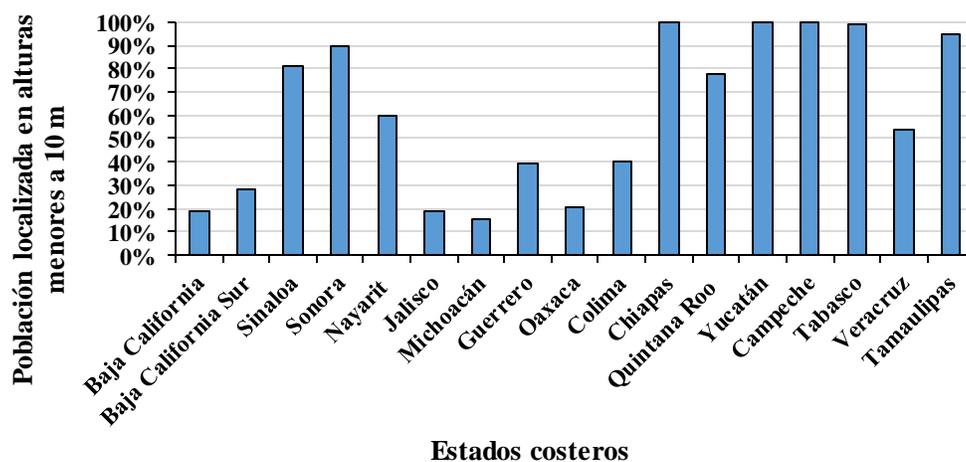
En el mapa de la Figura 10, se puede observar que las zonas de baja elevación se concentran en el estado de Yucatán, Campeche y Chiapas, seguidos por Tabasco, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa, Nayarit y Veracruz. De los cuales se tiene memoria sobre inundaciones en Tabasco por ser una planicie aluvial. Lo cual nos indica que debemos centrar el foco de atención a estas zonas que son un riesgo para la población costera. Como resultado se tiene que el 52 % de la población costera mexicana se ubica en zonas menores a 10 m, que en números son 582 poblaciones, mientras 527 localidades costeras (48 %) tienen una altitud mayor a 10 m. Lo cual representa que poco más del 50 % de la población costera mexicana tiene alta vulnerabilidad a las inundaciones. En la Tabla 36 se observa la población por estado localizada en alturas menores a 10 m.

Tabla 36 Población por estado localizada en alturas menores a 10 m.

Estado	No. de localidades	No. de localidades con altitud menor a 10 m	Población localizada en alturas menores a 10 m (%)
Baja California	73	14	19.2
Baja California Sur	53	15	28.3
Sinaloa	42	34	81.0
Sonora	28	25	89.3
Nayarit	62	37	59.7
Jalisco	43	8	18.6
Michoacán	46	7	15.2
Guerrero	149	59	39.6
Oaxaca	139	29	20.9
Colima	10	4	40.0
Chiapas	63	63	100.0
Quintana Roo	36	28	77.8
Yucatán	14	14	100.0
Campeche	19	19	100.0
Tabasco	85	84	98.8
Veracruz	227	123	54.2
Tamaulipas	20	19	95.0

Nota: La tabla anterior sólo considera las 1109 localidades caracterizadas en este trabajo.

La gráfica de la Figura 11 muestra los resultados de la Tabla 36, donde Chiapas, Yucatán, Campeche y Tabasco son los estados que presentan mayor población ubicada en alturas menores a 10 m a una distancia de 5 km tierra adentro a partir de la línea de costa.

**Figura 11** Población por estado localizada en alturas menores a 10 m.

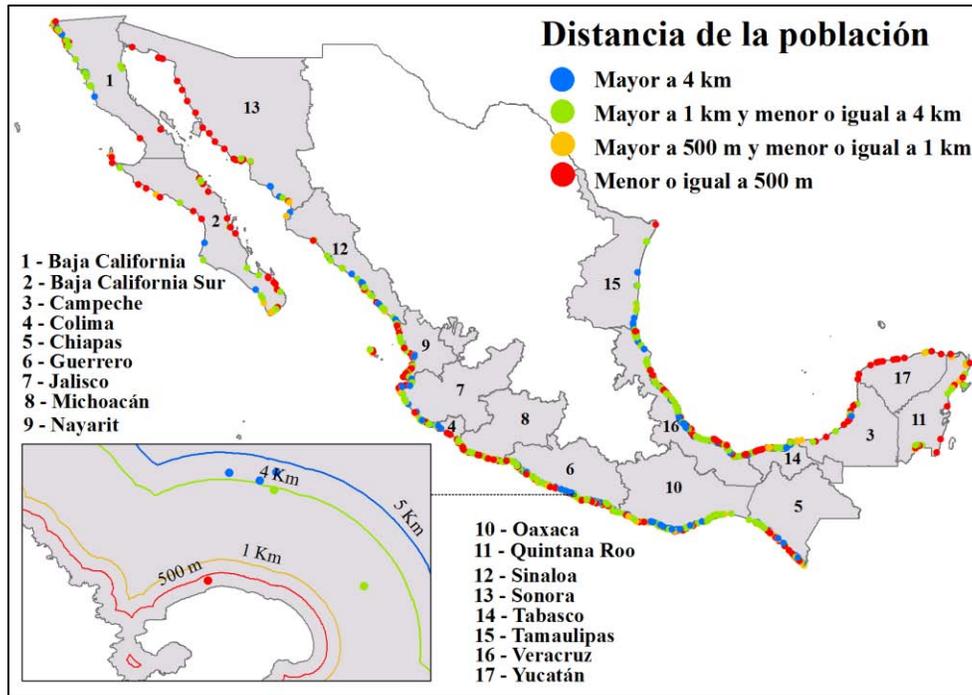


Figura 12 Distribución porcentual de la distancia de población costera mexicana.

En la Tabla 37 se presenta la superficie total a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.

Tabla 37 Superficie total a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.

Distancias	Superficie (km ²)
500 m	58277
1000 m	111098
4000 m	401718
5000 m	583670

Asimismo en la Tabla 38 se observa la superficie por estado a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.

Tabla 38 Superficie por estado a distancias menores a 500 m, 1 km, 4 km y 5 km.

Estados	Superficie (km ²)			
	500 m	1 km	4 km	5 km
Baja California	9423	17901	62501	88523
Baja California Sur	11656	22349	77989	111692
Sonora	6607	12662	46216	67621
Sinaloa	2990	5907	23416	35038
Nayarit	1891	3596	11885	16554
Jalisco	1391	2674	10065	14912
Colima	1038	1908	5899	8040
Michoacán	1015	1989	7658	11336
Guerrero	2282	4438	17085	25528
Oaxaca	2582	5078	19732	29372
Chiapas	1175	2366	9549	14416
Yucatán	2448	4400	15293	22212
Quintana Roo	5687	9839	31407	44248
Campeche	2021	3926	15132	22385
Tabasco	907	1804	7137	10679
Veracruz	3233	6414	25342	37941
Tamaulipas	1924	3846	15411	23171
Superficie Total	58271	111097	401718	583670

En México el 25 % de la población (285 localidades) se encuentra asentada en una distancia menor a 500 m, el 9 % entre 500 m y 1 km, el 49 % entre 1 km y 4 km y el 16 % de las localidades consideradas en este estudio están a más de 4 km de la línea de costa. Los resultados de la caracterización permiten centrar la atención en ese 25 %, que solo por estar ubicadas en esas zonas, su vulnerabilidad aumenta. En la Figura 12, se puede observar que estas poblaciones están concentradas en los estados de Yucatán, Sonora, Baja California Sur, Quintana Roo y Michoacán principalmente.

Los resultados de la caracterización de la densidad de población muestran que el 11 % de la población costera mexicana presenta una densidad de población concentrada (mayor o igual a 3000 hab/km²) que son 126 localidades, de las cuales 61 son poblaciones urbanas y 65 son rurales. El 89 % son poblaciones con densidad dispersa, es decir, menor a 3000 hab/km². La concentración de la población en una determinada zona provoca que dicha población sea más vulnerable, ya que si ocurre un desastre natural los daños aumentan al afectar esa área con una máxima intensidad. En la Tabla 39 se muestra el porcentaje de densidad de población concentrada o dispersa que presentan las poblaciones estudiadas en cada estado.

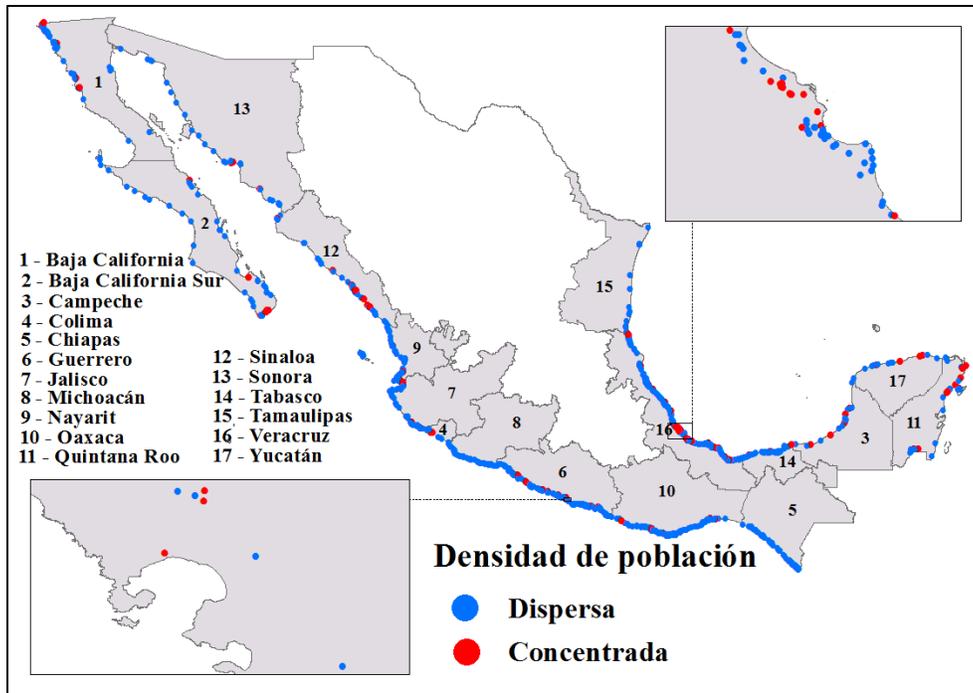


Figura 13 Distribución porcentual de la densidad de población costera mexicana.

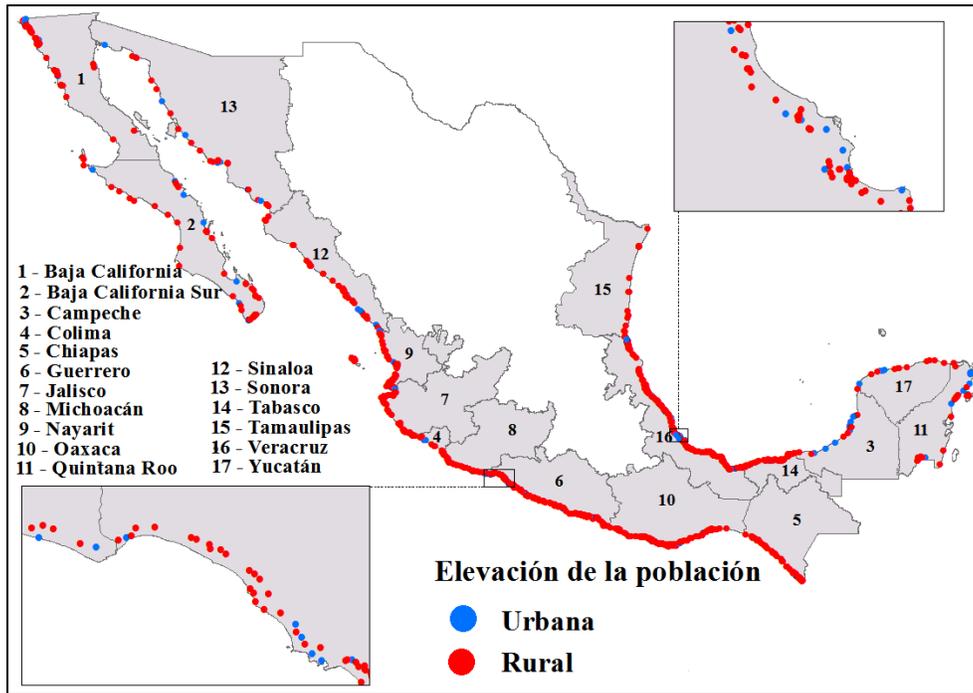


Figura 14 Distribución porcentual del tipo de infraestructura de la población costera mexicana.

Tabla 39 Densidad de población por estado.

Estados	Densidad de población	
	Población concentrada (%)	Población dispersa (%)
Baja California (Vertiente del Pacífico)	12	88
Baja California (Vertiente del Golfo de California)	0	100
Baja California Sur (Vertiente del Pacífico)	18	82
Baja California Sur (Vertiente del Golfo de California)	11	89
Sinaloa	21	79
Sonora	11	89
Nayarit	8	92
Jalisco	9	91
Colima	20	80
Michoacán	0	100
Guerrero	10	90
Chiapas	2	98
Oaxaca	4	96
Yucatán	29	71
Quintana Roo	25	75
Campeche	26	74
Tabasco	7	93
Veracruz	17	83
Tamaulipas	10	90

La Figura 14 muestra que la población urbana es menor que la rural en las costas mexicanas. Siendo 89 % rurales con 985 poblaciones y 11 % urbanas con 124 poblaciones. Veracruz, Acapulco, Los Cabos, Cancún, Puerto Vallarta, etc., son ejemplos de localidades urbanas. Como ya se explicó en apartados anteriores, para México resulta favorable, en términos de riesgo, que no exista gran población urbana en las costas, porque genera una mayor alteración y presión en los ecosistemas de esta zona volviéndola más vulnerable. Sin embargo, hay que recordar que se prevé que en los siguientes años aumente la población en las costas mexicanas, por lo cual es necesario planificar los nuevos asentamientos humanos para beneficiar la estabilidad de los ecosistemas y minimizar la vulnerabilidad de la población con base estudios de este tipo.

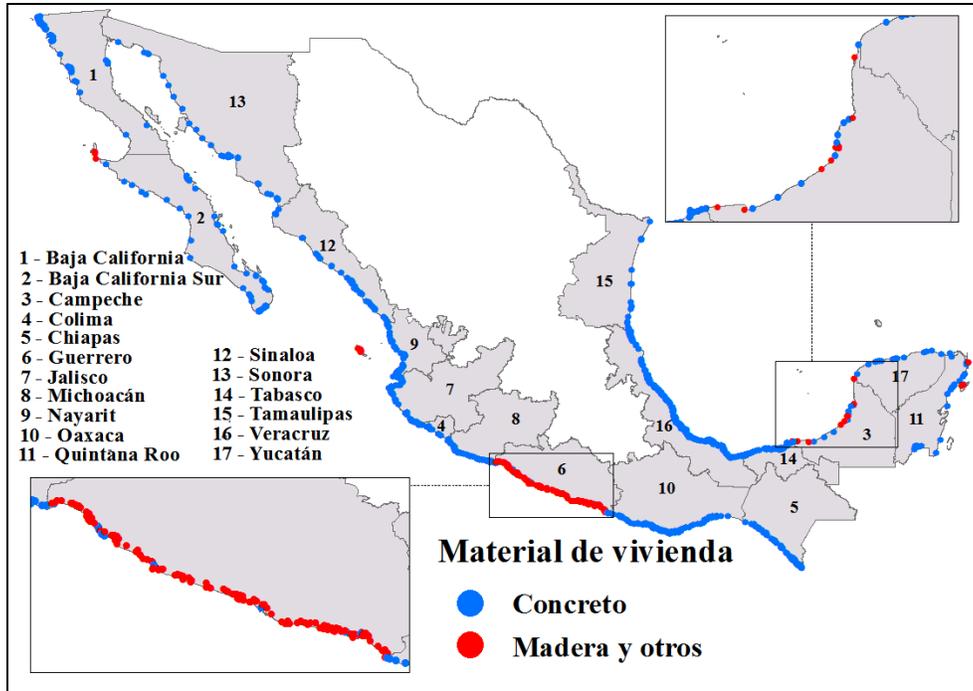


Figura 15 Distribución porcentual del material de vivienda de la población costera mexicana.

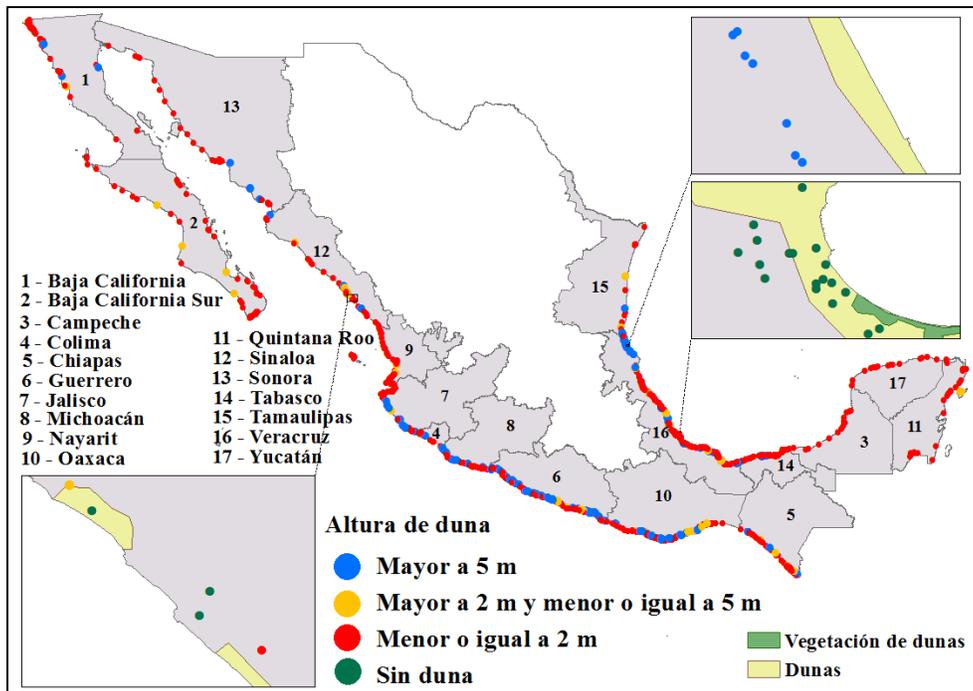


Figura 16 Distribución porcentual de la altura de duna en la población costera mexicana.

El mapa de la Figura 15, muestra la muestra la distribución de la clasificación de la variable material de vivienda en las 1109 poblaciones costeras de México. Las viviendas de madera

son más vulnerables a las intensidades de los desastres naturales y a nivel nacional representan el 15 %, que son 167 poblaciones, mientras el 85 % (942 poblaciones costeras) tiene viviendas de concreto. Estos resultados resultan muy positivos al realizar evaluación de la vulnerabilidad, ya que como lo mencionamos en otros apartados, las viviendas de concreto tienen mayor resistencia a los embates de las amenazas naturales. Sin embargo, como se observa en el mapa, las poblaciones de madera se concentran en el estado de Guerrero, con pocos puntos de localidades con mayor presencia de concreto en sus viviendas y después Campeche con comportamiento mixto.

La caracterización muestra que sólo el 17 % de la población está ubicada detrás de dunas con altura mayor a 5 m. Lo que resulta preocupante porque el resto de la población podría sufrir daños ante fuertes intensidades de las amenazas. Esta característica física de la duna no debe tener alteraciones antropogénicas independientemente de la baja altura que pueda tener un cordón de dunas. Veracruz y Sonora son ejemplos de estados con altas dunas (Figura 16).

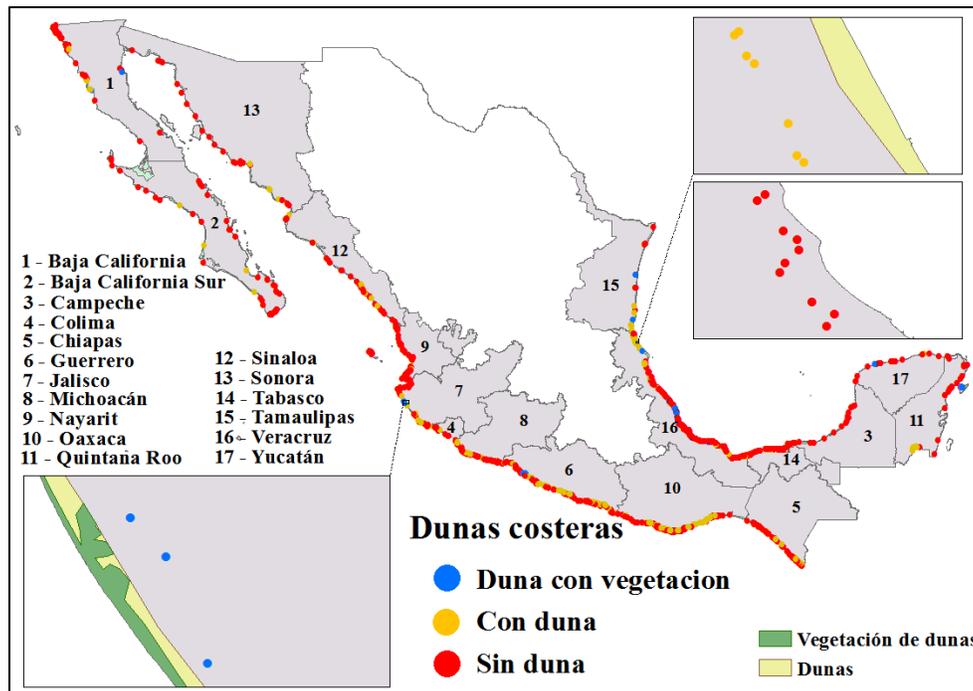


Figura 17 Distribución porcentual de la presencia de duna en la población costera mexicana.

La vegetación de la duna tiene la función de ser una trampa de sedimentos que protege a la misma duna contra la erosión. Dicha vegetación en la duna es una característica que le permite ser más robusta y soportar las fuertes intensidades que presentan las amenazas. En México el 4 % de la población presenta duna con vegetación, el 21 % duna sin vegetación y el 75 % de la población analizada mostró no tener duna costera como protección natural.

Dichos datos permiten hacer conciencia para fomentar la conservación de las dunas que existen en nuestras costas mexicanas, En la Figura 17, se observa que muchos estados costeros han abatido sus dunas por gran infraestructura, lo cual aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones.

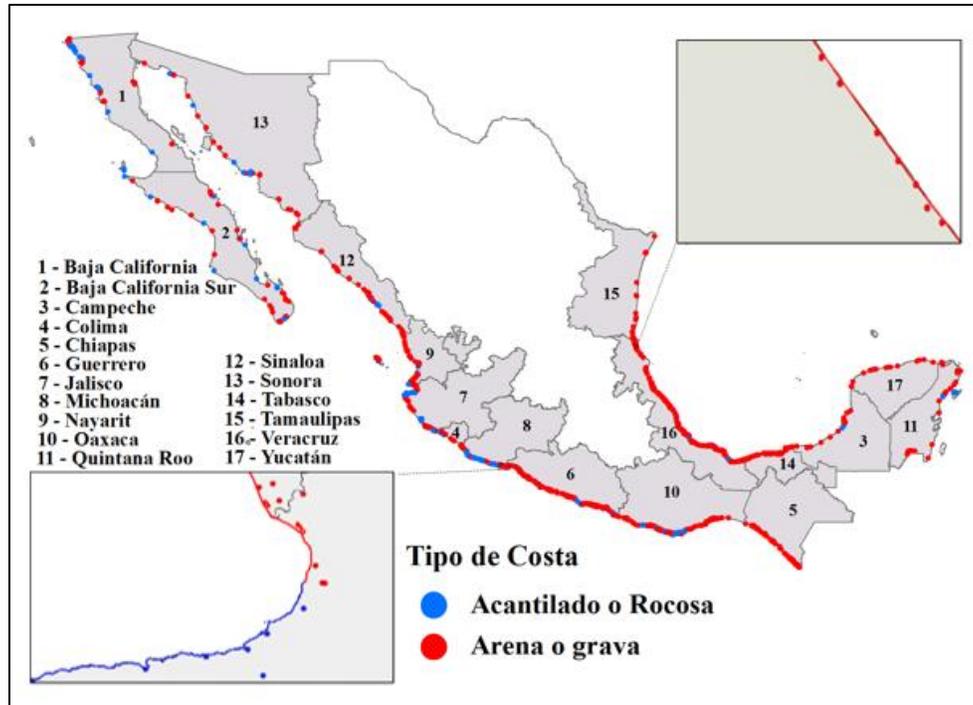


Figura 18 Distribución porcentual del tipo de costa en la población costera mexicana.

En la Tabla 3, se muestra que aproximadamente un 22 % de las costas mexicanas son rocosas. El resultado de la caracterización de las poblaciones refleja que 18 % de la población está situada en acantilados o playas rocosas, 81 % de poblaciones está ubicada en Arena y menos del 1 % en playas de grava (Figura 18). Lo anterior hace centrar nuestros focos de atención a las poblaciones con playas de arena, lo cual crea un incremento de la vulnerabilidad de la población costera a nivel nacional.

Los espigones, diques y rompeolas protegen artificialmente la población costera donde el mar ha avanzado tierra adentro erosionando la costa. El resultado de la caracterización muestra que el 17 % de la población costera cuenta con protección artificial (Figura 19). El que una población costera presente este tipo de protección, es un indicador de que la población es víctima del embate del oleaje y necesita disminuir su vulnerabilidad, lo cual es una buena medida de protección, pero que no justifica el incrementar la densidad de población en esa zona.

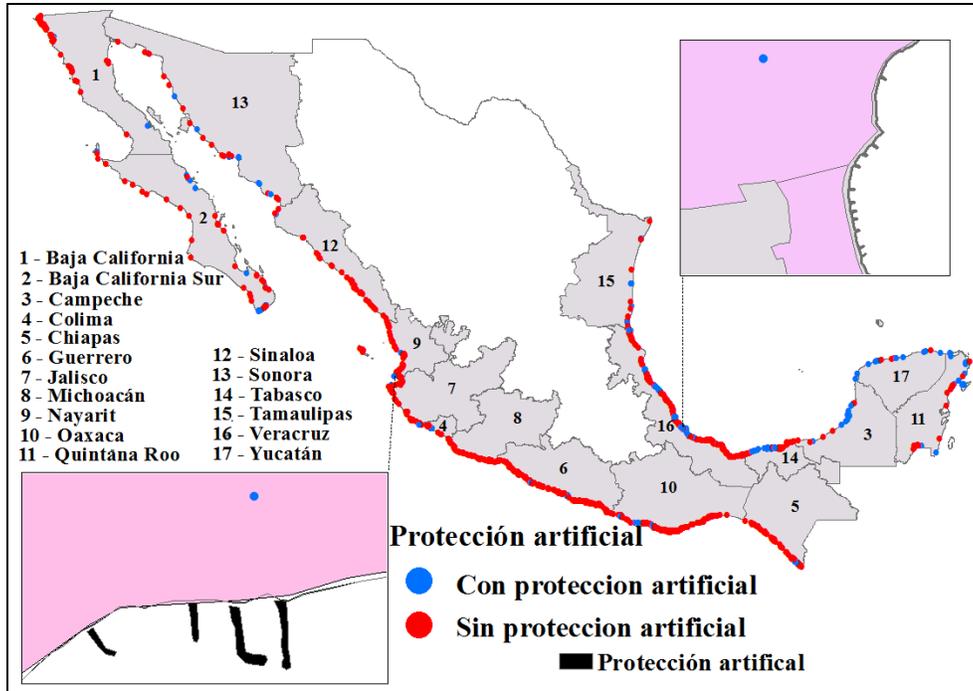


Figura 19 Distribución porcentual de la protección artificial en la población costera mexicana.

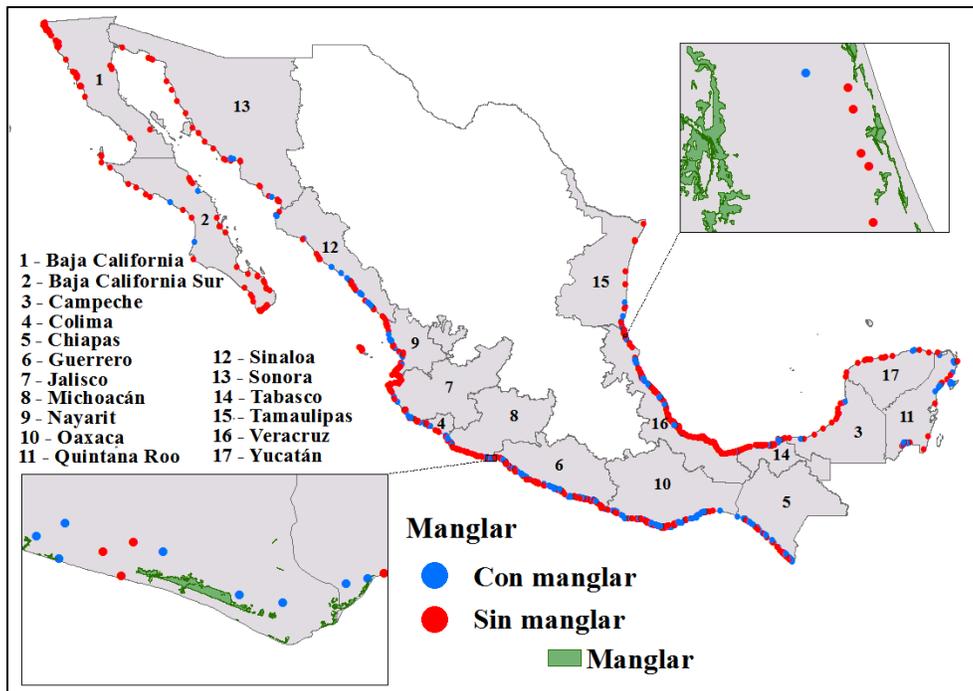


Figura 20 Distribución porcentual de la presencia de manglar en la población costera mexicana.

México aún conserva la protección natural de los manglares en gran parte de sus costas. La presencia del manglar aporta el beneficio de salvaguardar a la población. No obstante, como se observa en la Figura 20, existen muchos puntos rojos, que nos indican que esa población no cuenta con manglar. Siendo el 70 % de la población evaluada en este trabajo sin manglar (781 localidades) y 30 % con manglar, que son 328 localidades, sin mencionar aquellas poblaciones en donde el servicio de protección del manglar se ha consumado o disminuido por acciones antropogénicas.

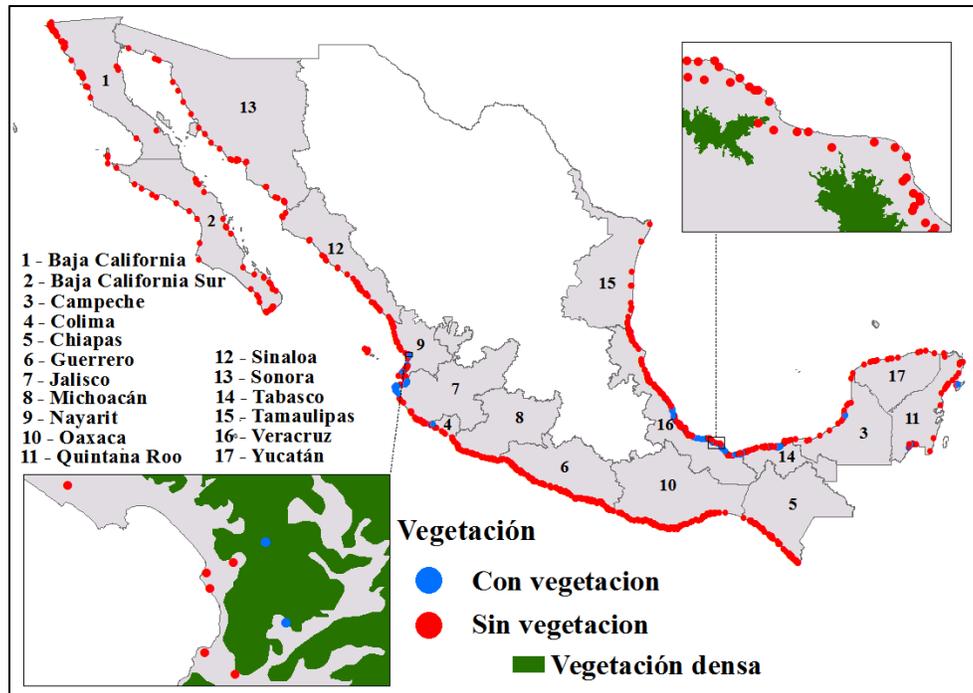


Figura 21 Distribución porcentual de la presencia de vegetación en la población costera mexicana.

La vegetación es una característica de las costas mexicanas que permite proteger a la población ante los embates de los fenómenos naturales. La caracterización mostró que el 11 % de la población costera mexicana (119 localidades) presenta vegetación y el resto está situada frente a la vegetación y por lo tanto el servicio de protección natural se pierde (Figura 21). Las poblaciones que presentaron manglar, se tomaron como sin vegetación en el registro de esta variable.

México cuenta con 1780 km² en el área de arrecifes coralinos (Spalding, 2001), en el Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. La caracterización muestra que aproximadamente un 48 % de la población mexicana, que son 536 localidades; cuentan con la protección de arrecifes de coral. Estados como Quintana Roo, Oaxaca, Veracruz, Baja California Sur, entre otros, poseen grandes áreas de arrecifes de coral (Figura 22).

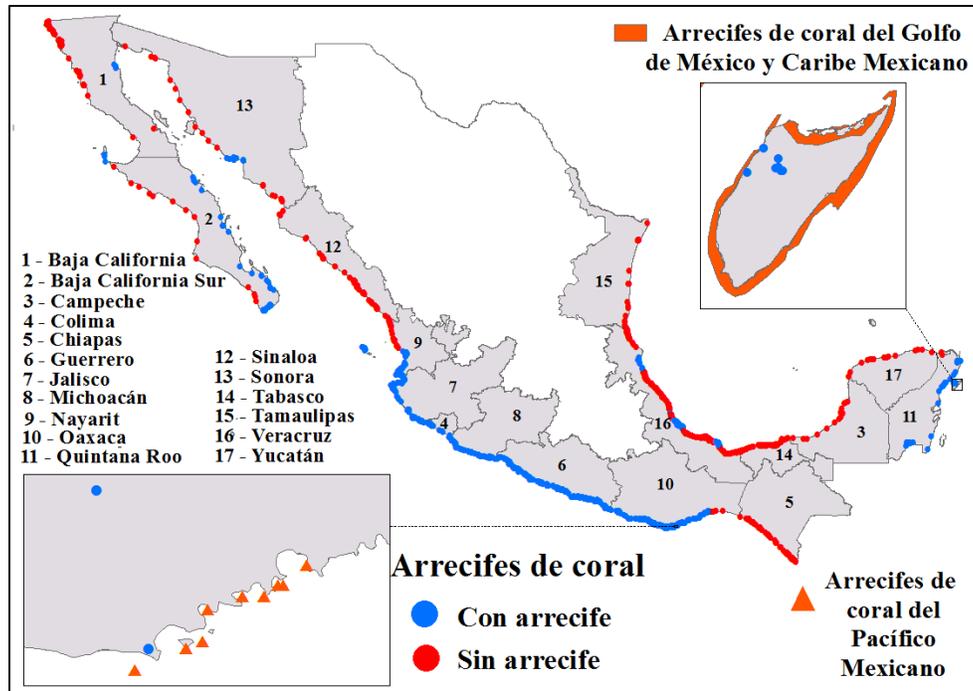


Figura 22 Distribución porcentual de los arrecifes de coral en la población costera mexicana.

5.2 Grados de vulnerabilidad de la población y la costa mexicana.

Las estimaciones obtenidas permitieron establecer rangos de valores que van de 9 a 71, a los cuales se les asignó un nivel de vulnerabilidad mostrada en la Tabla 40, para obtener la estadística de los porcentajes que presenta la población costera mexicana basado en un rango de vulnerabilidad.

Tabla 40 Niveles de vulnerabilidad

Rango de valores del índice de vulnerabilidad	Niveles de vulnerabilidad
IVP \leq 30	Vulnerabilidad Baja
30 < IVP \leq 51	Vulnerabilidad Moderada
51 < IVP \leq 71	Vulnerabilidad Alta

Los rangos establecidos de los índices de vulnerabilidad de población, fueron definidos con base en el cálculo de todas las propuestas del orden de las variables, comparando los mínimos y máximos valores que puede el índice de vulnerabilidad de la población. Dicha estandarización de rangos en el nivel de vulnerabilidad se realizó para poder comparar los resultados de las distintas propuestas, para hacer la elección de aquella que mostrara los datos cercanos a la realidad.

Al realizar los cálculos correspondientes se obtuvo la gráfica de la Figura 23, que muestra el porcentaje del nivel de vulnerabilidad que presenta la población costera mexicana.

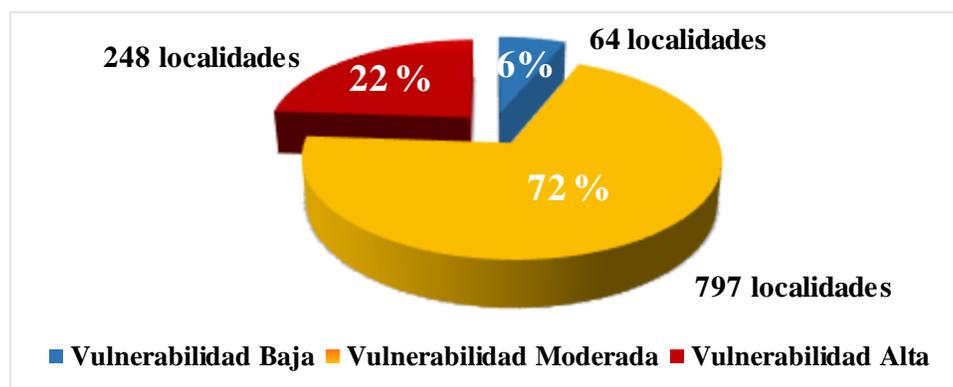


Figura 23 Vulnerabilidad de la población costera mexicana.

5.3 Identificación de sitios prioritarios por compartimento litoral, municipio y estado

Las Figura 24 muestra los compartimentos litorales definidos en el apartado 2.3, del capítulo 2, y las estadísticas del tipo de costa que presentan de acuerdo a la caracterización realizada. Las zonas donde se ubican los puertos se consideraron con protección artificial y sin tipo de costa. La caracterización por compartimentos litorales se comparó con la caracterización realizada por Ortiz y Méndez (2004) del Instituto de Geografía, UNAM, donde propone una clasificación por tipo de costa: costa rocosa, mixta y costa de arena, definida de manera geomorfológica de acuerdo a su proceso de formación (Figura 25), pero así como empató en la delimitación de varias zonas de la costa, difirió en varias debido a la escala con la cual se trabajó, ya que en la caracterización de este trabajo se obtuvieron celdas con tamaños mínimos de aproximadamente 200 m.

A partir de los compartimentos litorales definidos por tipo de costa, se obtuvieron las estadísticas mostradas en la Tabla 41 a nivel nacional. Donde se definieron 1310 compartimentos de arena o grava en las costas de la República Mexicana.

Tabla 41 Estadística del tipo de costa en la República Mexicana

Tipo de Costa	Número de compartimentos	Porcentaje (%)
Arena y grava	1310	49.8
Acantilado y rocosa	1202	45.7
Mixta	25	0.9
Costa fangosa	61	2.3
Protección artificial	34	1.3
	2632	100

La base de datos (Tabla 42) que contiene la caracterización por compartimentos litorales se realizó en un archivo shape, representado en la Figura 24.

Tabla 42 Base de datos de la caracterización por tipo de costa.

Id_Comp	Longitud	Latitud	Tipo de Costa
1	-117.1226667	32.4955729	Arena o grava
2	-117.1015941	32.43818182	Acantilado o rocosa
3	-117.091859	32.3992471	Arena o grava
4	-117.0747966	32.368848	Arena o grava
5	-117.0670447	32.35133412	Arena o grava
6	-117.0513341	32.32244835	Arena o grava
7	-117.0474901	32.31165784	Acantilado o rocosa
8	-117.0451866	32.30315922	Arena o grava
9	-117.03996	32.29373214	Arena o grava
10	-117.0348403	32.28083187	Acantilado o rocosa
11	-117.0309982	32.27911812	Arena o grava
12	-117.0287682	32.2764001	Acantilado o rocosa
13	-117.0252561	32.27217365	Acantilado o rocosa
14	-117.0113423	32.26889762	Acantilado o rocosa
15	-117.0083133	32.26690209	Acantilado o rocosa
16	-116.9789526	32.25869168	Acantilado o rocosa
17	-116.9751617	32.2577881	Acantilado o rocosa
18	-116.9606298	32.25201782	Acantilado o rocosa
19	-116.9257748	32.23164748	Acantilado o rocosa
20	-116.9204972	32.22210802	Acantilado o rocosa
21	-116.9138488	32.20098116	Mixta
22	-116.9072316	32.16506919	Acantilado o rocosa

•
• (Continuación)

2625	-106.6581795	21.73968259	Acantilado o rocosa
2626	-106.4938499	21.46654775	Acantilado o rocosa
2627	-106.3864468	21.4205579	Acantilado o rocosa
2628	-106.3584042	21.45589156	Acantilado o rocosa
2629	-106.4596379	21.49571204	Acantilado o rocosa
2630	-106.2299691	21.32549351	Acantilado o rocosa
2631	-86.8036042	21.53160656	Arena o grava
2632	-97.22983965	21.47678329	Arena o grava

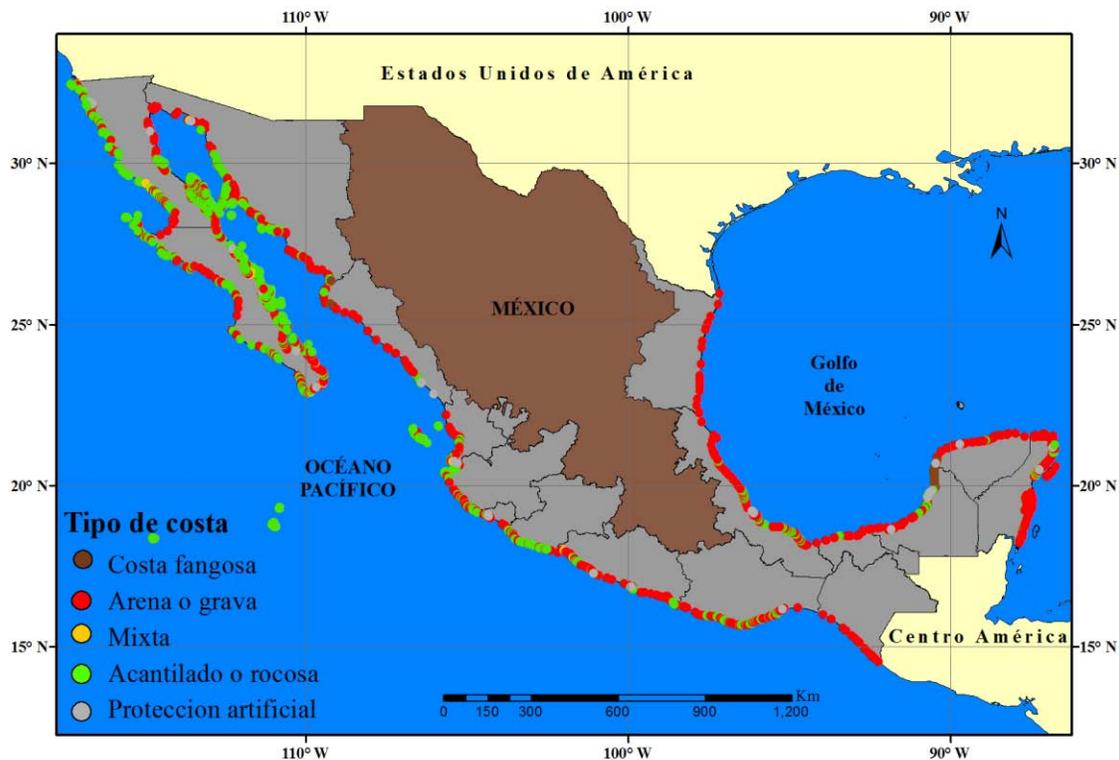


Figura 24 Compartimentos litorales de acuerdo al tipo de costa en la República Mexicana.



Figura 25 Caracterización del tipo de costa en México por el Instituto de Geografía.

En la Tabla 3 se observa que la propuesta de caracterización por Ortiz y de La Lanza identifica 75.73 % de la costa mexicana como de arena y gravas, mientras las costas rocosas (acantilados y terrazas) ocupan 22.38 % de la costa. La caracterización presentada en este trabajo presenta porcentajes similares.

Se realizaron mapas de promedios del índice de vulnerabilidad de población por compartimento litoral, los cuales están presentados a escala de estado debido a las pequeñas dimensiones de los 2632 compartimentos litorales definidos a nivel nacional en el apartado 2.3 del capítulo 2. Dichos mapas muestran la concentración de la vulnerabilidad de la población en cada compartimento litoral, definido promediando el valor(es) puntual(es) del índice de vulnerabilidad de la población o poblaciones contenidas en cada celda litoral.

En las siguientes figuras se muestra la vulnerabilidad de la población en distintas escalas para los estados de Baja California y Tabasco.

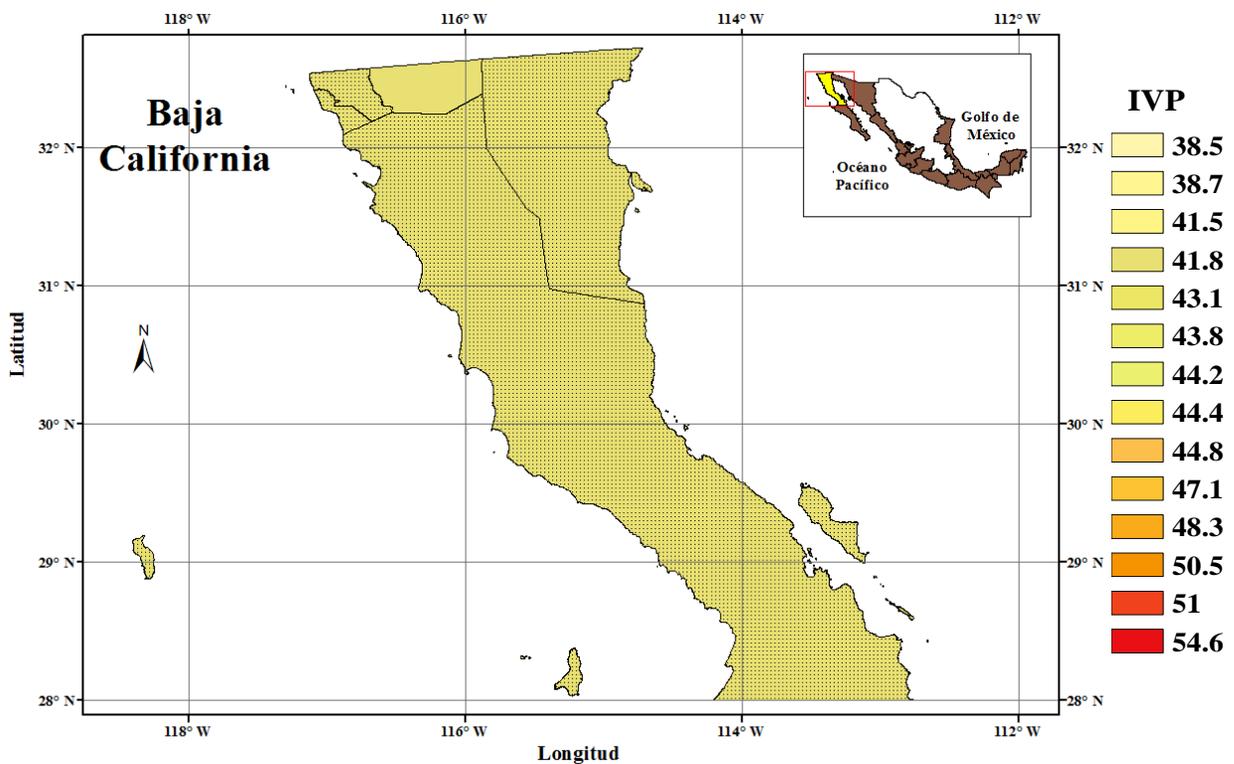


Figura 26 Vulnerabilidad de la población de Baja California.

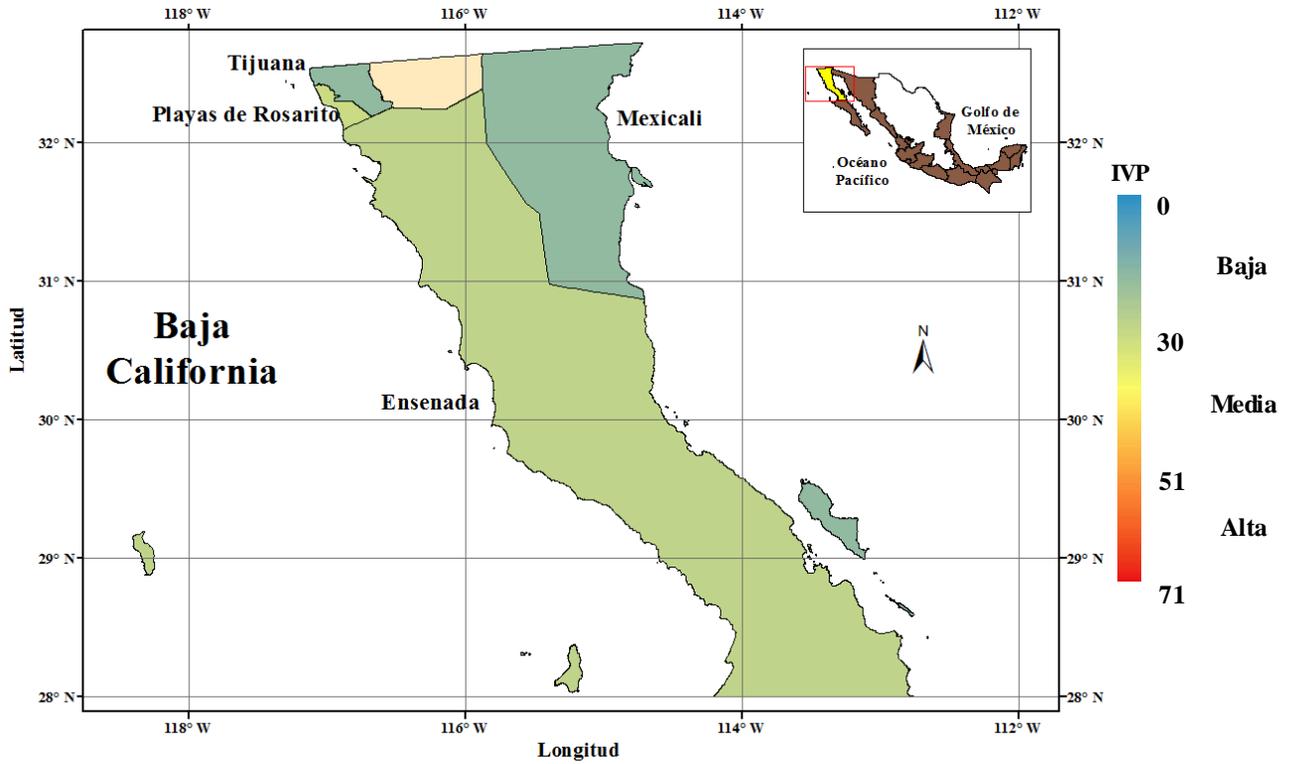


Figura 27 Vulnerabilidad de la población a nivel municipal.

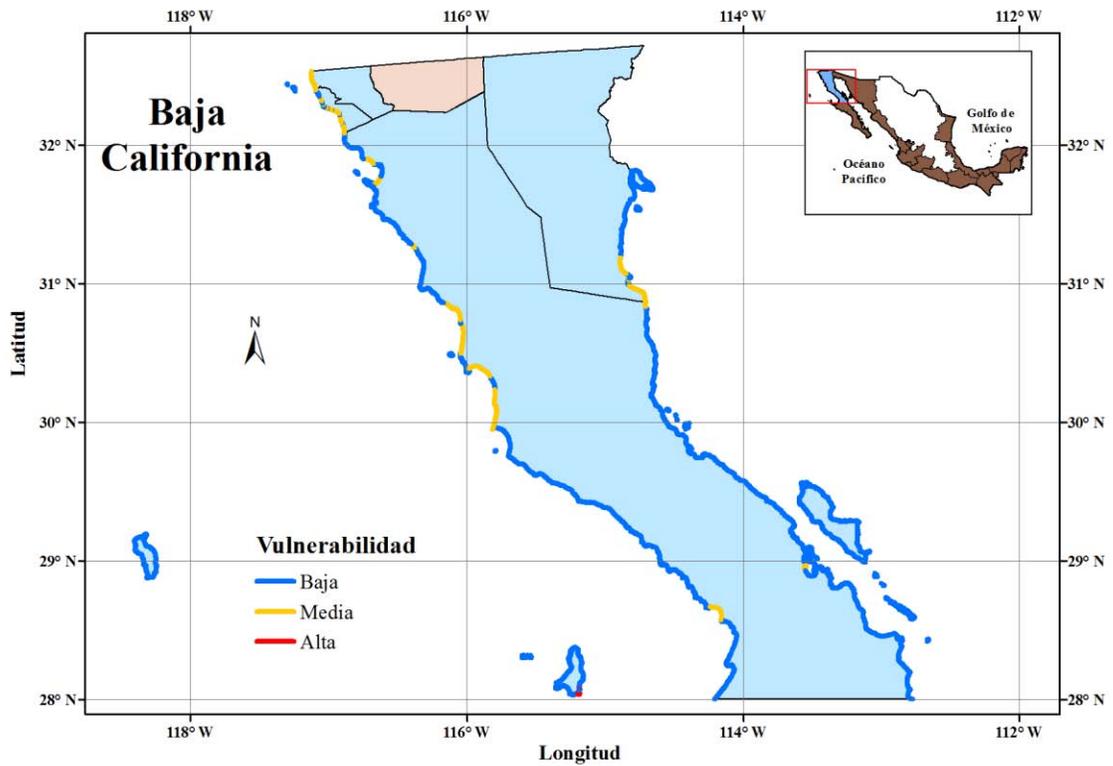


Figura 28 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.

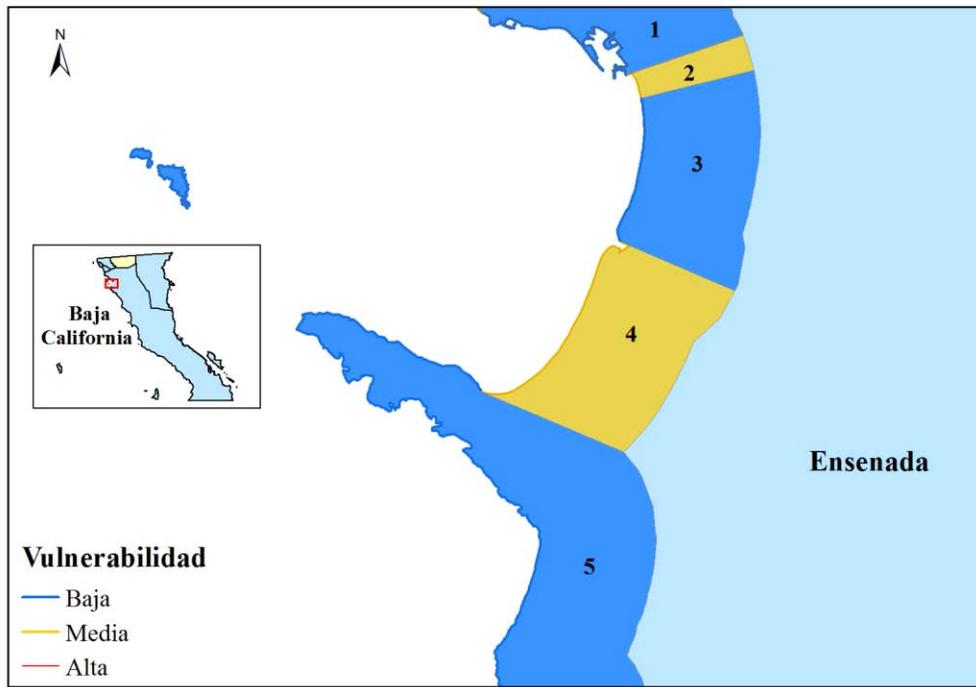


Figura 29 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.

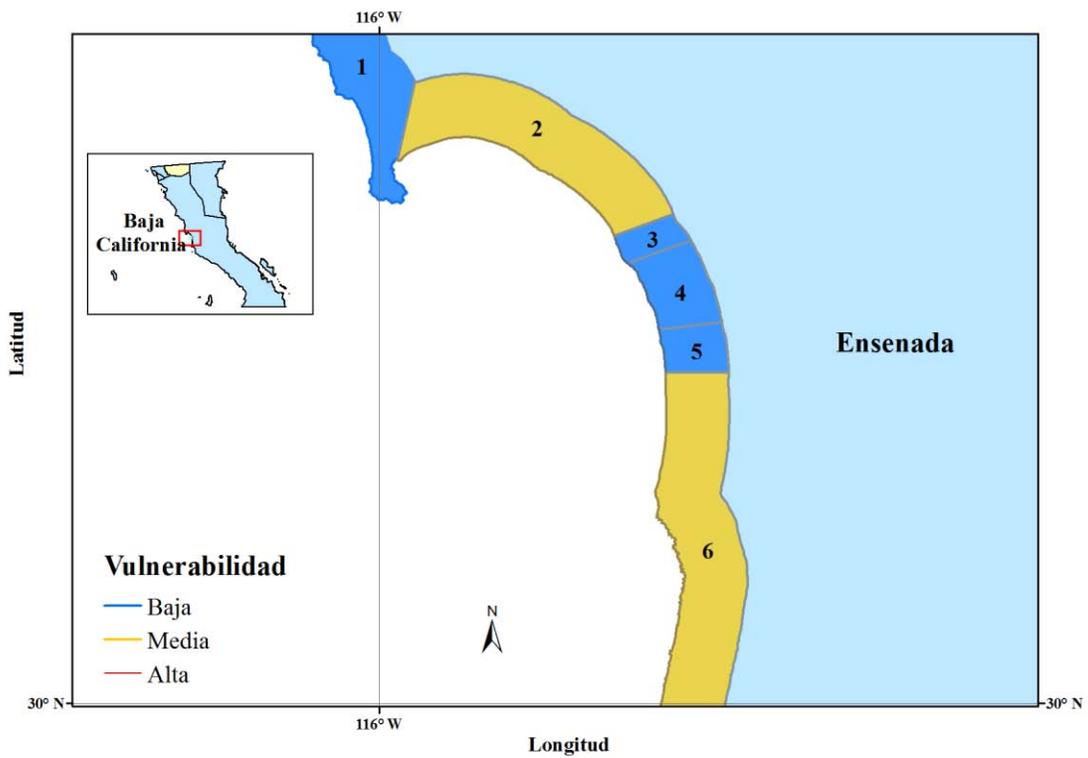


Figura 30 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.

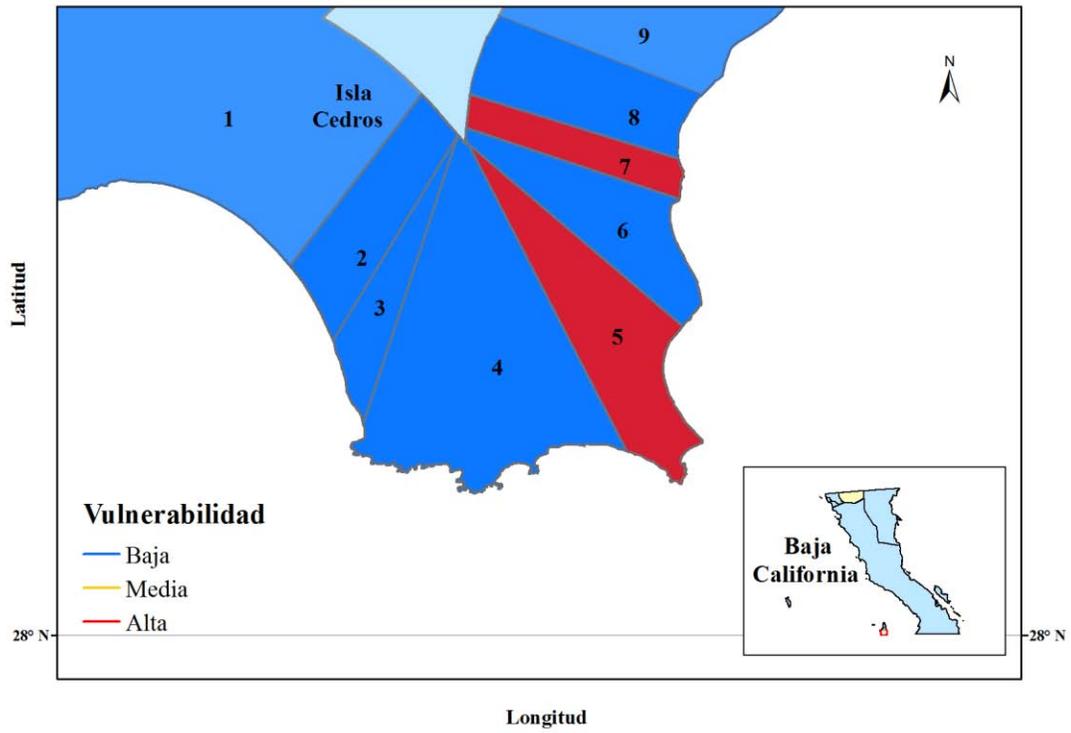


Figura 31 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.

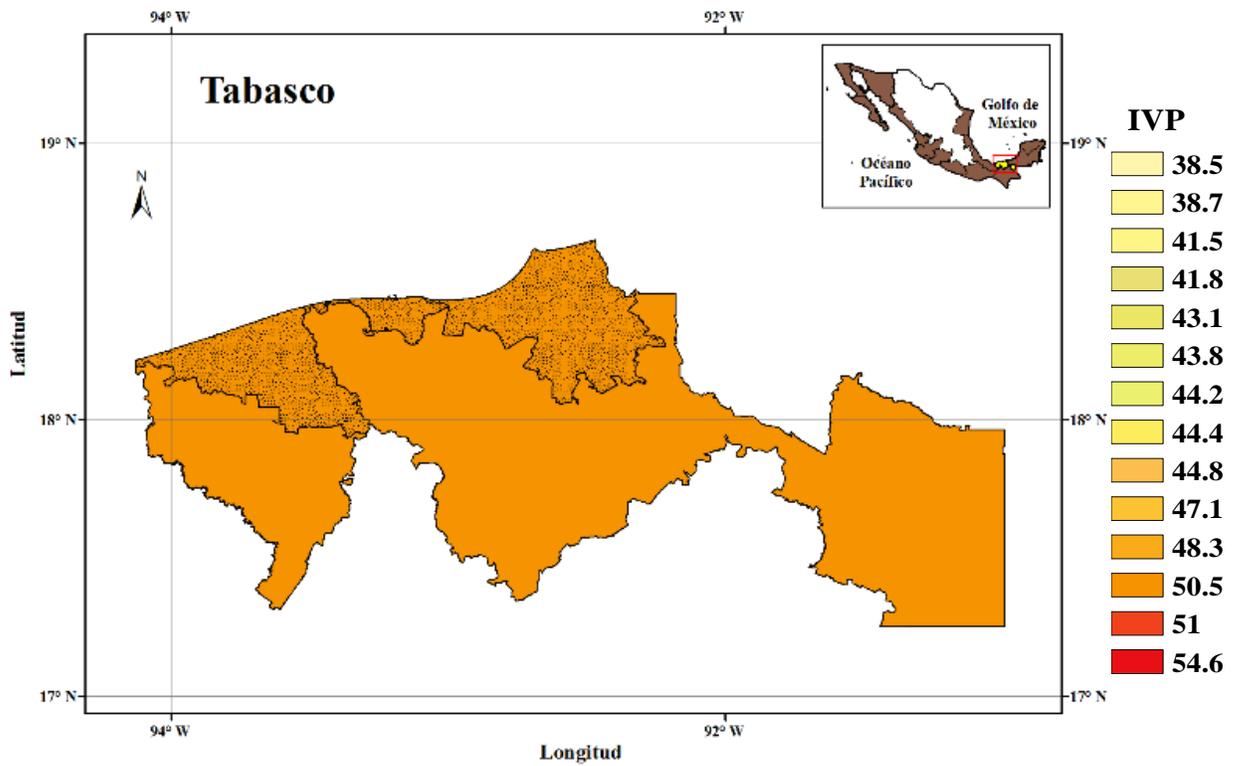


Figura 32 Vulnerabilidad de la población de Tabasco

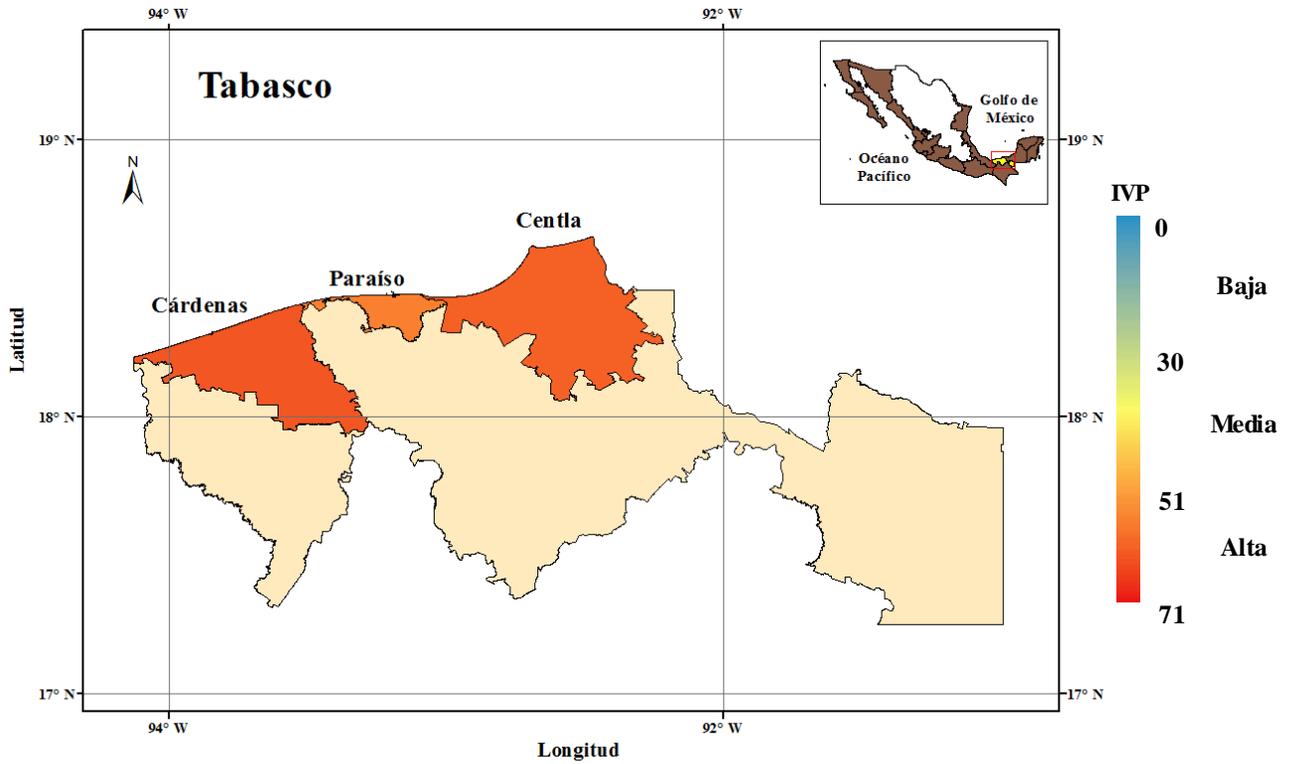


Figura 33 Vulnerabilidad de la población a nivel municipio.

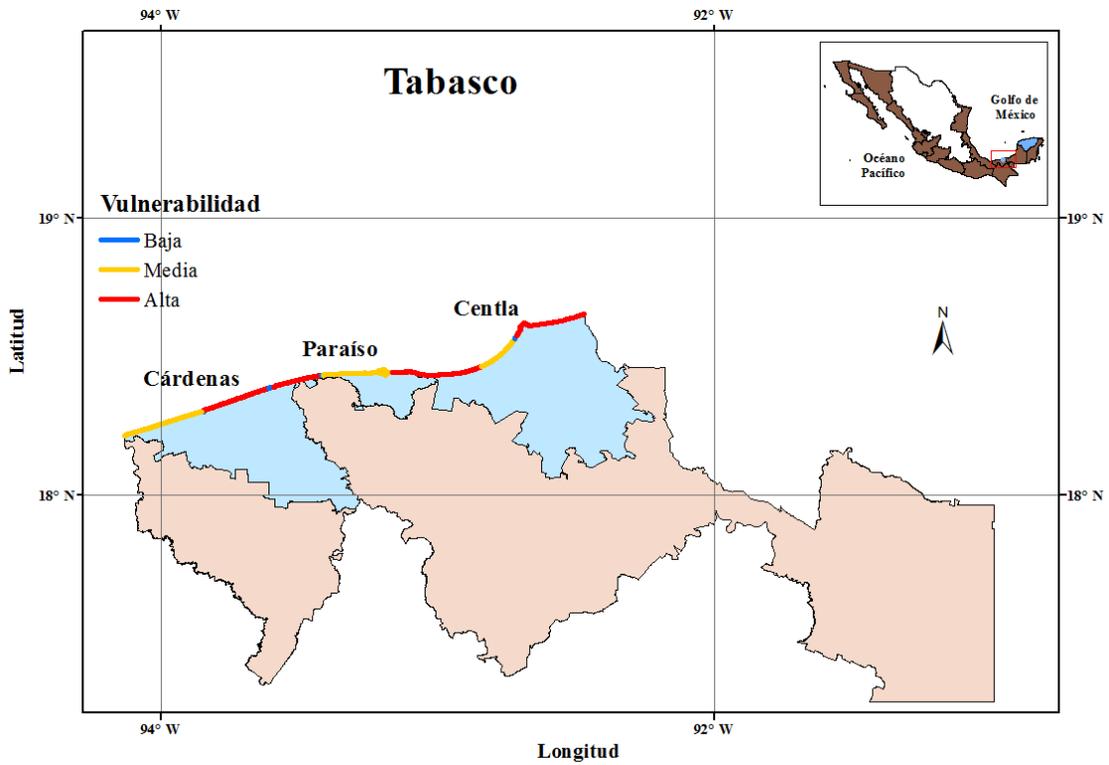


Figura 34 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral.

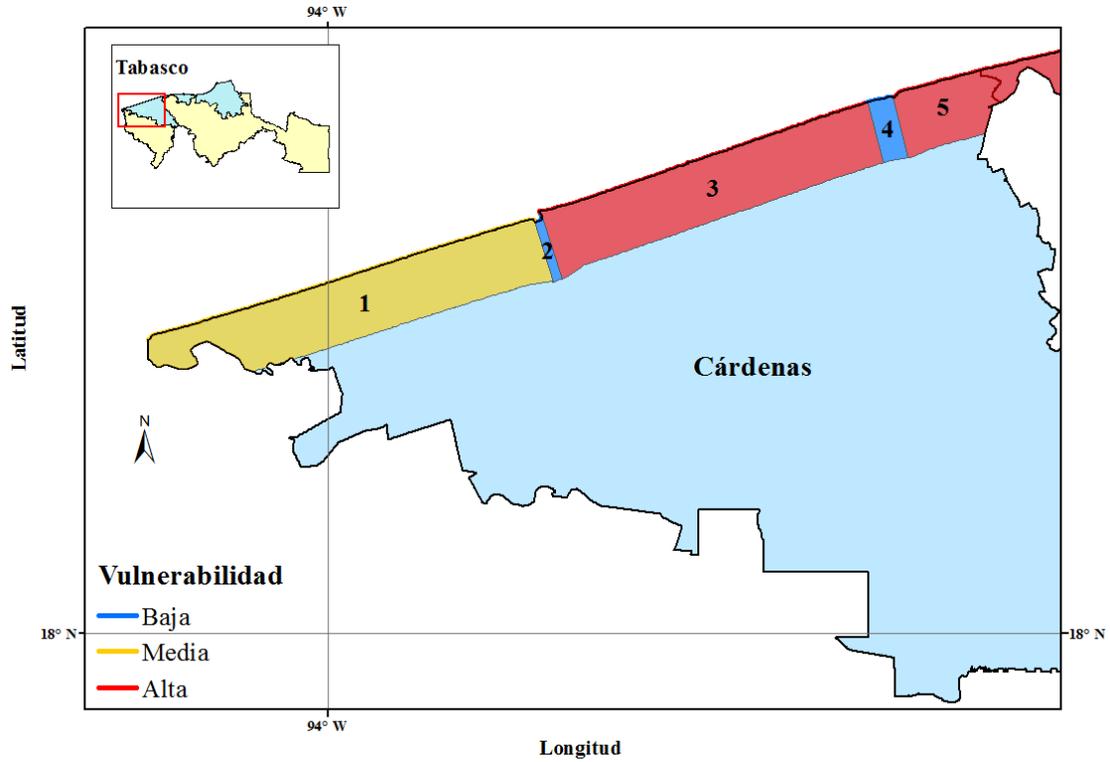


Figura 35 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Cárdenas, Tabasco.

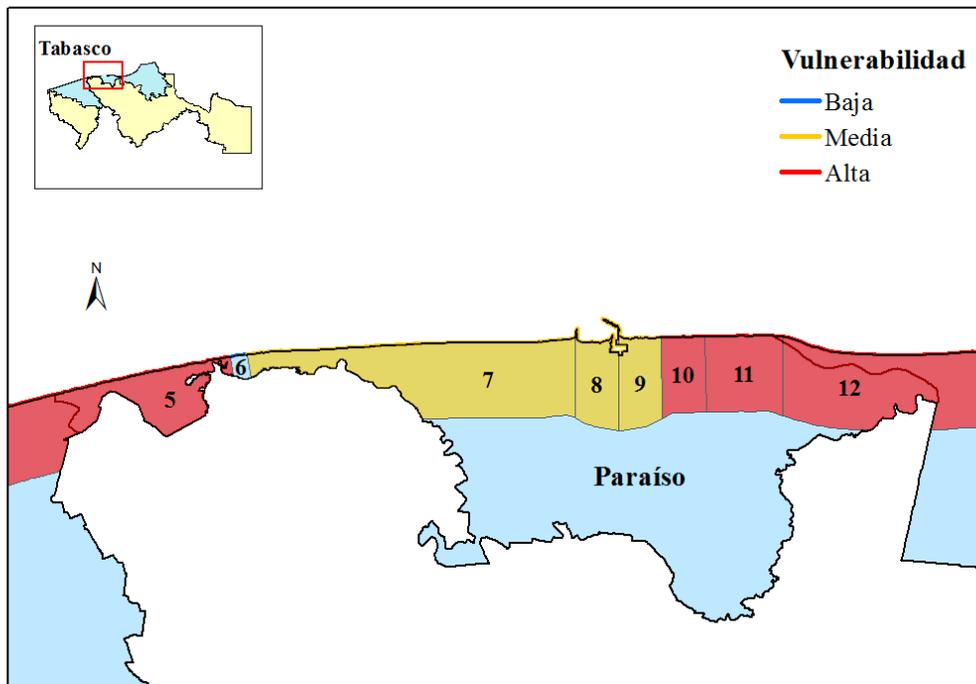


Figura 36 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Paraíso, Tabasco.

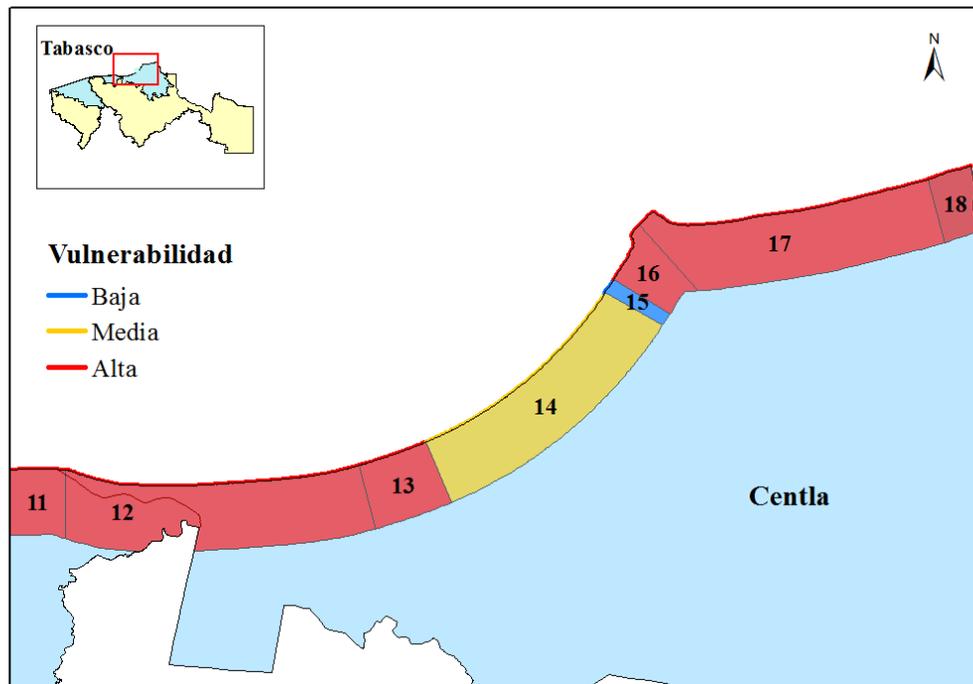


Figura 37 Vulnerabilidad de la población por compartimento litoral en el municipio de Centla, Tabasco.

En la Figura 38, se muestra la distribución de los promedios del índice de vulnerabilidad de la población a nivel municipal, obtenido a partir de promediar los promedios de los compartimentos litorales contenidos en cada municipio.

En la Figura 39 también se calculó el promedio del índice de vulnerabilidad de la población a nivel estado promediando el índice de vulnerabilidad de la población ubicada en cada estado.

La gráfica de la Figura 40 muestra los promedios de los índices de vulnerabilidad de población a nivel estado, donde Yucatán es el estado con mayor índice, seguido por Campeche, Tabasco y Nayarit. Los estados con menor índice de vulnerabilidad son Oaxaca y Jalisco.



Figura 38 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población a nivel municipal.



Figura 39 Distribución del índice de vulnerabilidad de población a nivel estatal.

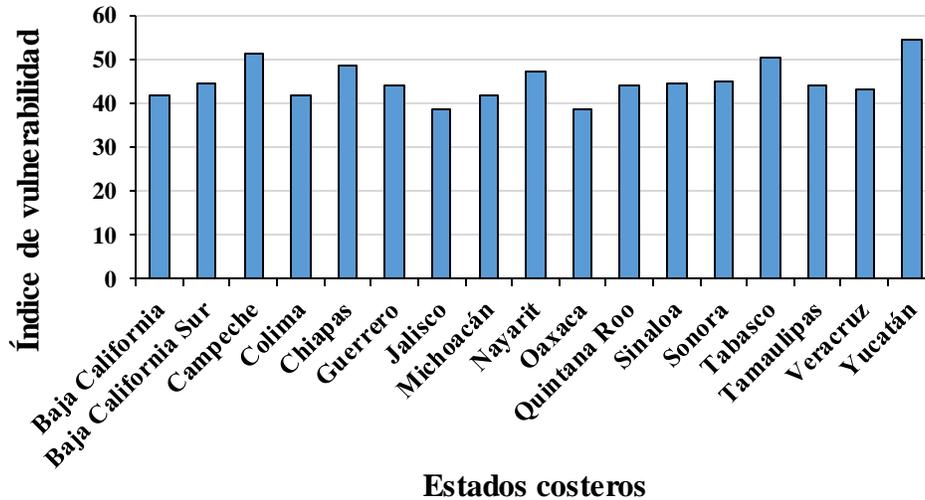


Figura 40 Promedio del índice de vulnerabilidad de la población a nivel estado.

5.4 Análisis de estudio de vulnerabilidad a nivel local en el Océano Pacífico, Golfo de México y Caribe.

Para evaluar a menor escala el índice de vulnerabilidad, se seleccionaron 9 localidades para realizar un estudio a nivel local, de las cuales 5 están ubicadas en el Pacífico mexicano y 4 en el Golfo de México en distintos estados. Una breve descripción de estas poblaciones se muestra a continuación.

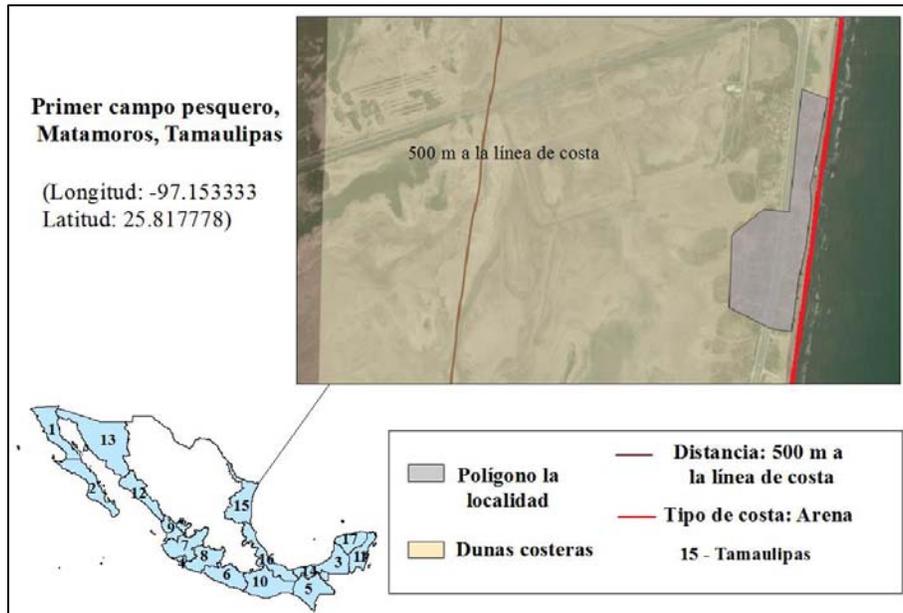


Figura 41 Ubicación y características de la localidad Primer campo pesquero, Matamoros, Tamaulipas.

La localidad llamada el Primer campo pesquero se encuentra en el municipio de Matamoros, Tamaulipas (Figura 41), siendo una población rural que se localiza a 1 m sobre el nivel medio del mar, con una densidad de población dispersa de 2363 habitantes/ km².

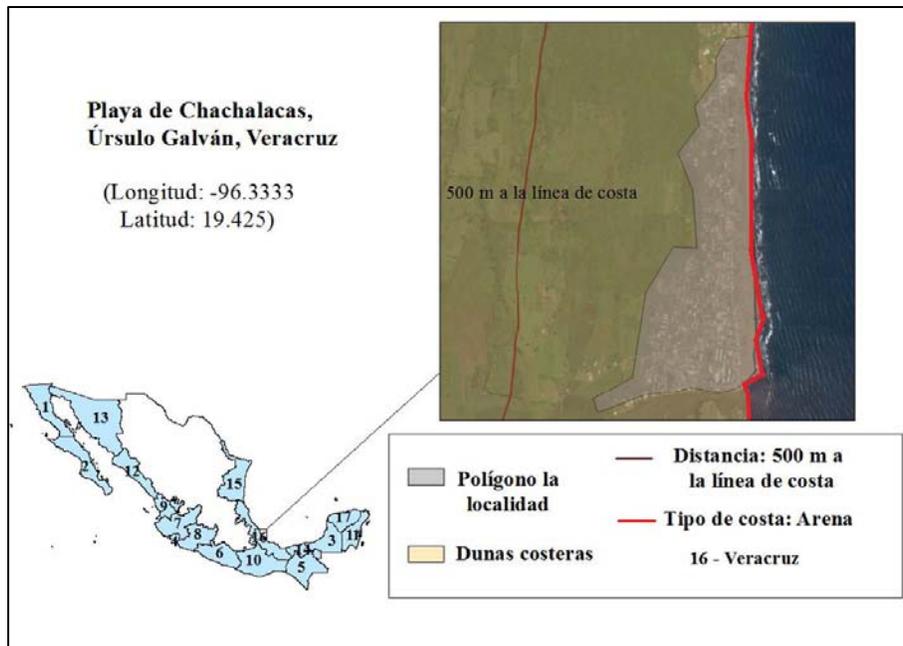


Figura 42 Ubicación y características de la localidad Playa de Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz.

Úrsulo Galván (Figura 42) es un municipio perteneciente al estado de Veracruz, en el cuál se encuentra la localidad llamada Playa de Chachalacas. Dicha población tienen una elevación de 10 m sobre el nivel medio del mar y una densidad de población dispersa aproximada de 1473 habitantes/ km². Actualmente Playa Chachalacas presenta un problema de erosión (retroceso en la línea de costa) de aproximadamente 1m/año (SEMAR, 2004) citado en (SEMARNAT y CONAFOR, 2014).

Chuburná es una población ubicada en el municipio de Progreso, Yucatán (Figura 43). Se encuentra al nivel medio del mar y tienen una densidad de población dispersa de 657 habitantes/ km². En el Diagnóstico de dunas costeras (SEMARNAT y CONAFOR, 2014), se considera que Chuburná es una ciudad que abatió sus dunas costeras, perdiendo así el servicio ambiental de protección de línea de costa.

Puerto Morelos (Figura 44), ubicado en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, tiene una elevación de 4 m sobre el nivel medio del mar y una densidad de población concentrada de 8307 habitantes/ km². Asimismo, se considera que esta población perdió sus dunas costeras al construir infraestructura sobre la duna y paralelas al litoral.

La Tabla 43, muestra las características de las 4 poblaciones ubicadas en el Golfo de México.

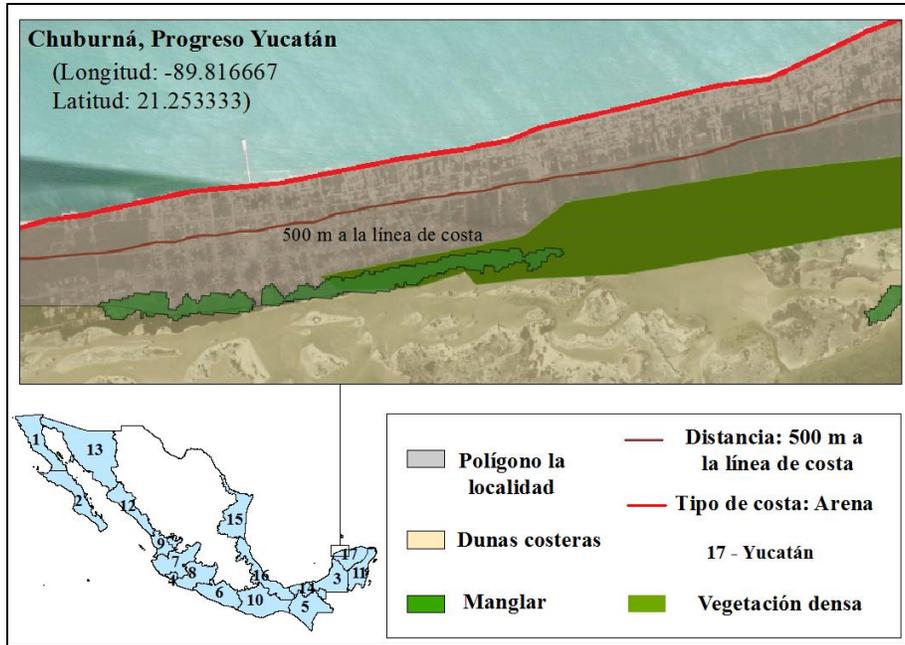


Figura 43 Ubicación y características de la localidad Chuburná, Progreso, Yucatán.

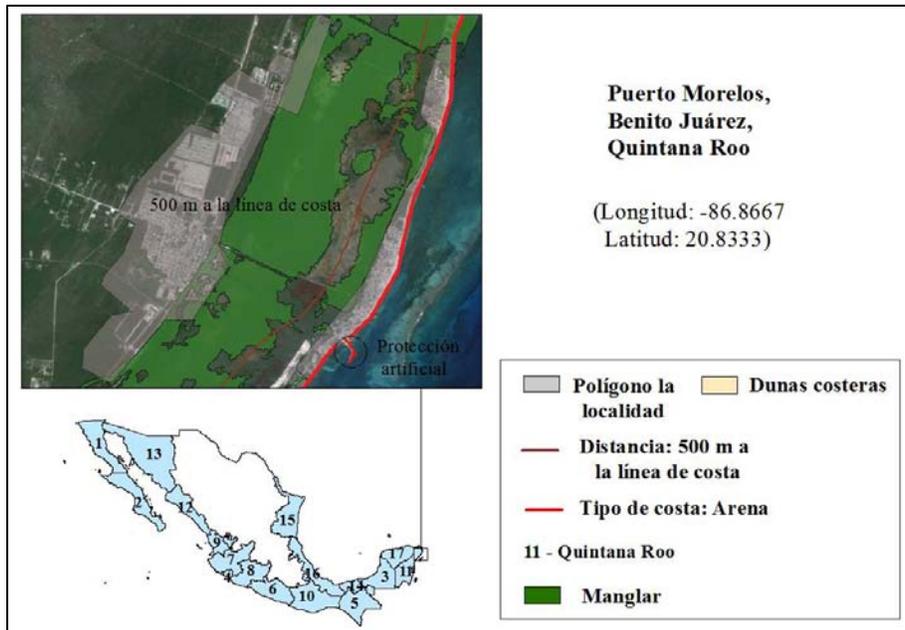


Figura 44 Ubicación y características de la localidad Puerto Morelos, Benito Juárez, Quintana Roo.

Esta localidad se encuentra en Playas Rosarito, Baja California. Con 25 m sobre el nivel medio del mar y una densidad de población dispersa de 407 habitantes/ km².

Tabla 43 Características de las localidades ubicadas en el Golfo de México para evaluar el índice de vulnerabilidad de la población.

Variables	Primer campo pesquero	Playa de Chachalacas	Chuburná	Puerto Morelos
Elevación	Menor o igual a 1 m	Mayor a 4 m y menor o igual a 10 m	Menor o igual a 1 m	Mayor a 1 m y menor o igual a 4 m
Distancia	Menor o igual a 500 m	Menor o igual a 500 m	Menor o igual a 500 m	Mayor a 1 km y menor o igual a 4 km
Densidad	Dispersa	Dispersa	Dispersa	Concentrada
Infraestructura	Rural	Rural	Rural	Urbana
Material de vivienda	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto
Altura de duna	0 m	0 m	0 m	0 m
Protección natural (duna)	Sin duna	Sin duna	Sin duna	Sin duna
Tipo de costa	Arena	Arena	Arena	Arena
Protección artificial	Sin protección artificial	Sin protección artificial	Con protección artificial	Con protección artificial
Manglar	Sin manglar	Sin manglar	Sin manglar	Sin manglar
Vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación
Arrecifes	Sin arrecife	Sin arrecife	Sin arrecife	Con arrecife

Cabo San Lucas es una ciudad ubicada en el municipio de Los Cabos, Baja California Sur. Tiene una altitud de 20 m sobre el nivel medio del mar y una densidad de población concentrada de 4376 habitantes/km². Cabo San Lucas es considerado en el Diagnóstico de dunas costeras, como una ciudad que perdió el servicio ecosistémico de protección que proporcionan las dunas costeras a la línea de costa (SEMARNAT y CONAFOR, 2014).

Tabla 44 Valor de los índices de vulnerabilidad de las localidades costeras del Golfo de México.

Peso	Variables	Primer campo pesquero	Playa de Chachalacas	Chuburná	Puerto Morelos
12	Elevación	0.9	0.2	0.9	0.2
11	Distancia	0.9	0.9	0.9	0.5
10	Densidad	0.2	0.2	0.2	0.9
9	Infraestructura	1	1	1	0.1
8	Material de vivienda	0.2	0.2	0.2	0.2
7	Altura de duna	0.9	0.9	0.9	0.9
6	Protección natural (duna)	1	1	1	1
5	Tipo de costa	0.7	0.7	0.7	0.7
4	Protección artificial	1	1	0.5	0.5
3	Manglar	0.9	0.9	0.9	0.9
2	Vegetación	0.9	0.9	0.9	0.9
1	Arrecifes	0.9	0.9	0.9	0.2
	IVP	58.5	50.1	56.5	41.9

Las localidades del Pacífico Mexicano seleccionadas para el análisis, se muestran a continuación.

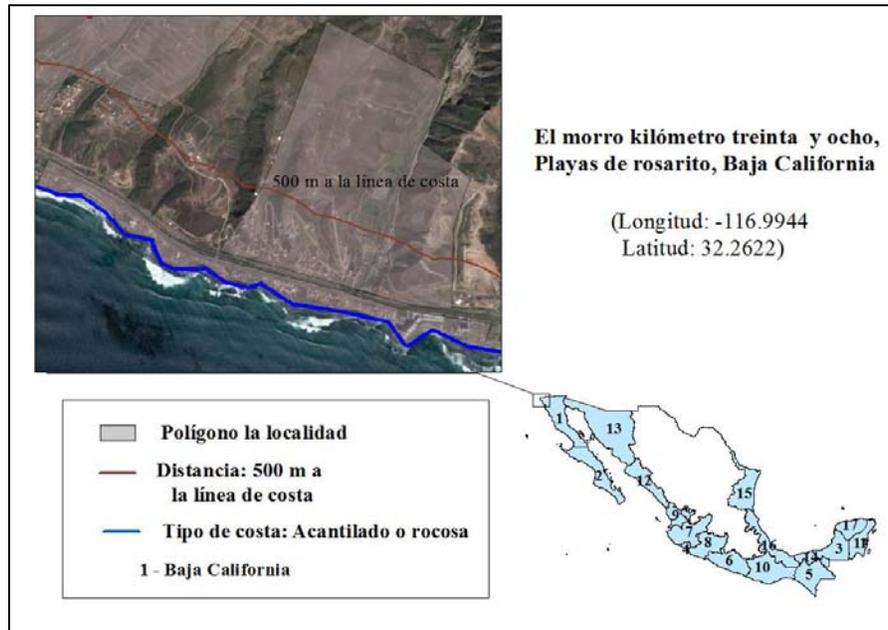


Figura 45 Ubicación y características de la localidad El morro kilómetro treinta y ocho, Playa de rosarito, Baja California.

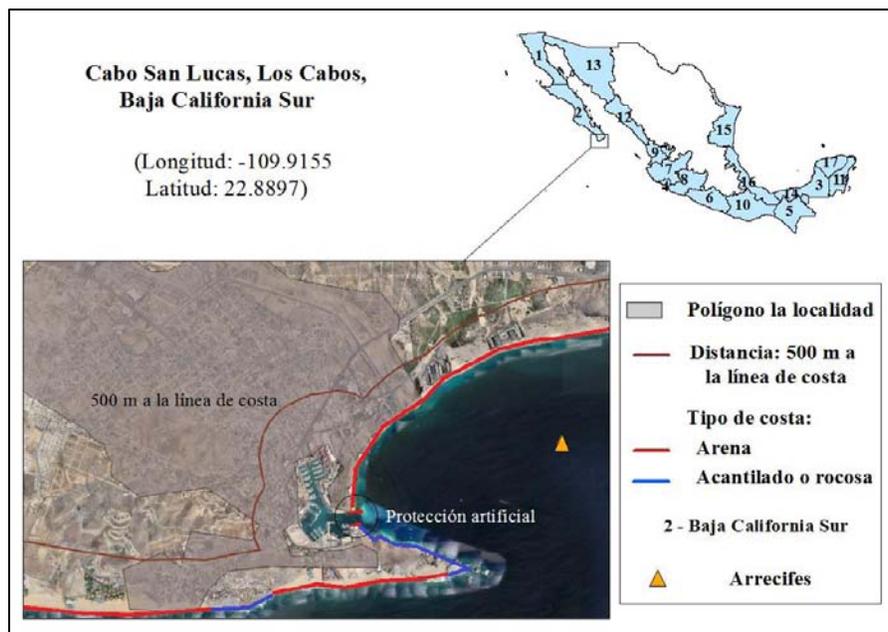


Figura 46 Ubicación y características de la localidad Cabo San Lucas, Los Cabos, Baja California Sur.

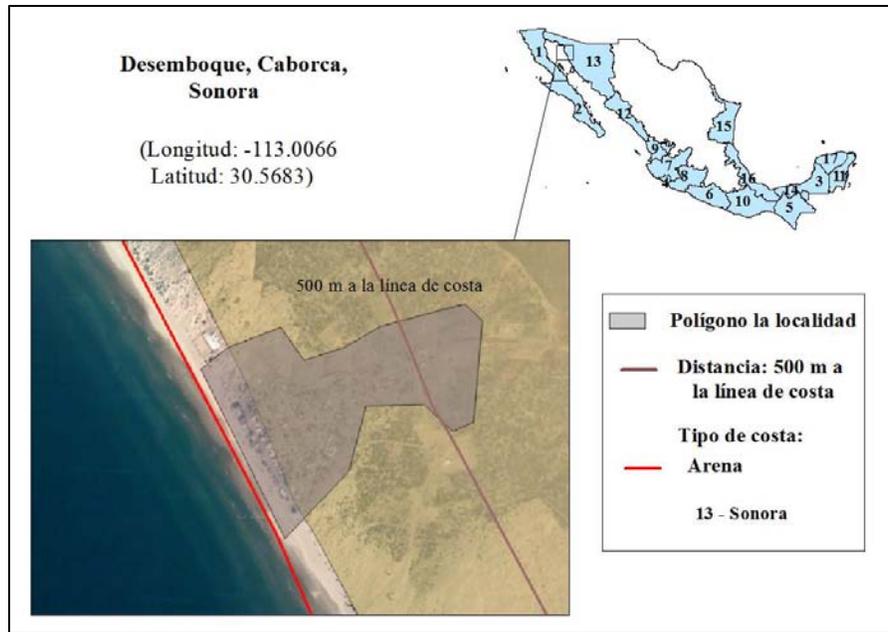


Figura 47 Ubicación y características de la localidad Desemboque, Caborca, Sonora.

Desemboque es una población rural ubicada en Sonora, con 17 m de altitud sobre el nivel medio del mar. Presenta una densidad de población dispersa de 2710 habitantes/ km².

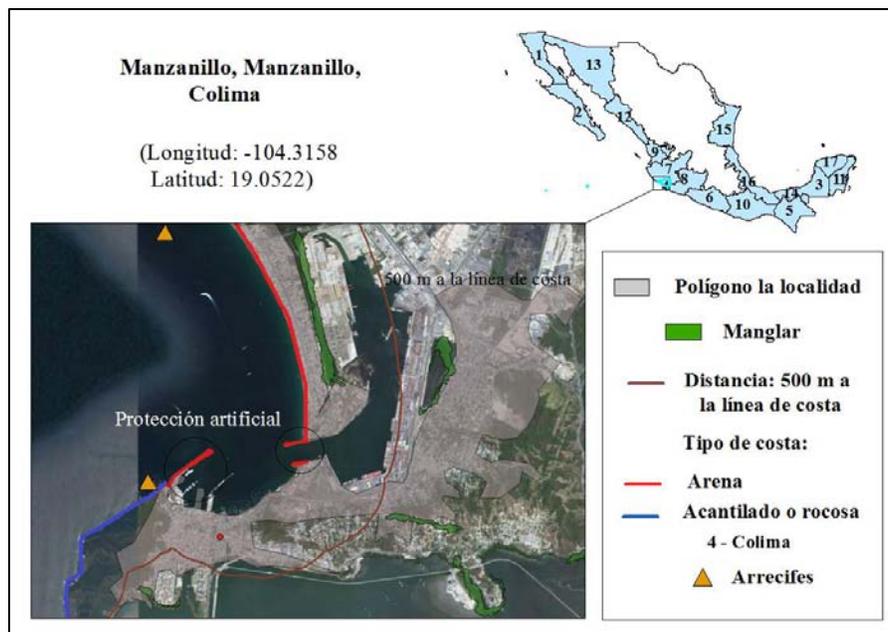


Figura 48 Ubicación y características de la localidad Manzanillo, Manzanillo, Colima.

Manzanillo pertenece al municipio de Manzanillo, Colima. Presenta una densidad de población concentrada de 3432 habitantes/ km² y una altitud de 11 m sobre el nivel medio

del mar. Esta ciudad también abatió la protección que le brindan las dunas costeras, al construir infraestructura sobre éstas.

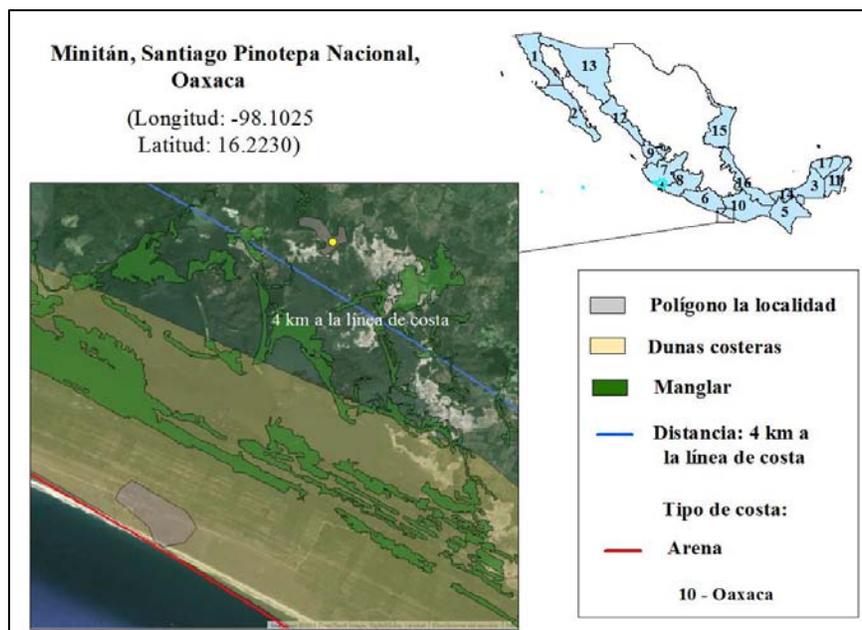


Figura 49 Ubicación y características de la localidad Minitán, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.

La localidad de Minitán se ubica en el municipio de Santiago Pinotepa Nacional en el estado de Oaxaca. Con una altitud de 17 metros sobre el nivel medio del mar y una densidad de población dispersa de 1090 habitantes/ km².

Las conclusiones apoyadas con la Tabla 47, se puede observar que Chuburná, Yucatán y Primer Campo Pesquero en Tamaulipas presentaron vulnerabilidad alta, mientras que por el contrario, sólo Minitán, Oaxaca presento vulnerabilidad baja, la cual se ubica en el estado con menor vulnerabilidad y las demás localidades, vulnerabilidad moderada.

Específicamente en el Anexo 2, se puede consultar el índice de vulnerabilidad de cada localidad ubicada en su municipio y estado (Figura anexo 1.1).

Tabla 45 Características de las localidades ubicadas en el Golfo de México para evaluar el índice de vulnerabilidad de la población.

Variables	El morro kilómetro treinta y ocho	Cabo San Lucas	Desemboque	Manzanillo	Minitán
Elevación	Mayor a 10 m	Mayor a 10 m	Mayor a 10 m	Mayor a 10 m	Mayor a 10 m
Distancia	Menor o igual a 500 m	Menor o igual a 500 m	Menor o igual a 500 m	Menor o igual a 500 m	Mayor a 4 km
Densidad	Dispersa	Concentrada	Dispersa	Concentrada	Dispersa
Infraestructura	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Material de vivienda	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto
Altura de duna	0 m	0 m	0 m	0 m	10 m
Protección natural (duna)	Sin duna	Sin duna	Sin duna	Sin duna	Con duna
Tipo de costa	Acantilado o Rocosa	Arena	Arena	Acantilado o Rocosa	Arena
Protección artificial	Sin protección artificial	Con protección artificial	Sin protección artificial	Con protección artificial	Sin protección artificial
Manglar	Sin manglar	Sin manglar	Sin manglar	Sin manglar	Con manglar
Vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación	Sin vegetación
Arrecifes	Sin arrecife	Con arrecife	Sin arrecife	Con arrecife	Sin arrecife

En la Tabla 46 se muestran los valores de los índices de vulnerabilidad de cada variable de las 5 localidades del Pacífico mexicano.

Tabla 46 Valor de los índices de vulnerabilidad de las localidades costeras del Pacífico Mexicano.

No.	Variables	El morro kilómetro treinta y ocho	Cabo San Lucas	Desemboque	Manzanillo	Minitán
12	Elevación	0	0	0	0	0
11	Distancia	0.9	0.9	0.9	0.9	0
10	Densidad	0.2	0.9	0.2	0.9	0.2
9	Infraestructura	1	0.1	1	0.1	1
8	Material de vivienda	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7	Altura de duna	0.9	0.9	0.9	0.9	0
6	Protección natural (duna)	1	1	1	1	0.5
5	Tipo de costa	0.2	0.7	0.7	0.2	0.7
4	Protección artificial	1	0.5	1	0.5	1
3	Manglar	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2
2	Vegetación	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
1	Arrecifes	0.9	0.2	0.9	0.2	0.9
	IVP	45.2	43.9	47.7	41.4	26.4

Tabla 47 Grado de vulnerabilidad de las localidades costeras mexicanas analizadas en este apartado.

Población	Grado de vulnerabilidad	Población	Grado de vulnerabilidad
Primer campo pesquero	Vulnerabilidad alta	El morro kilómetro treinta y ocho	Vulnerabilidad moderada
Playa de Chachalacas	Vulnerabilidad moderada	Cabo San Lucas	Vulnerabilidad moderada
Chuburná	Vulnerabilidad alta	Desemboque	Vulnerabilidad moderada
Puerto Morelos	Vulnerabilidad moderada	Manzanillo	Vulnerabilidad moderada
		Minitán	Vulnerabilidad baja

Capítulo 6. Conclusiones y futuras líneas de investigación

El trabajo presentado en este documento, tiene el objetivo de evaluar la vulnerabilidad de la población costera de la República Mexicana. La vulnerabilidad está en función de las variables propias de cada población, que al definir las y jerarquizarlas requiere de gran cantidad de información. El aumento o disminución de la vulnerabilidad de la población depende de la jerarquía de dichas variables.

Mediante la creación de una base de datos con información de 1109 localidades costeras, se propusieron índices para cada variable y para cada localidad, con base en datos históricos registrados hasta este momento. Mediante el peso ponderado de cada variable y multiplicado por el índice de vulnerabilidad de cada localidad, se obtuvo el índice de vulnerabilidad de cada población, con el objeto de generar la estadística correspondiente y conocer, en distintas escalas, los rangos de vulnerabilidad que presenta la población a nivel estado, municipio, compartimento litoral y localidad.

La vulnerabilidad de la zona costera es función de una larga serie de parámetros, factores y circunstancias que hacen compleja su determinación por medios analíticos y/o estadísticos formales ya que, en buena medida, lo que priva es una escasez de información respecto del papel que cada agente juega en un sitio determinado. Es así que, en este trabajo se ha propuesto una metodología tipo índices para cuantificar la vulnerabilidad de las poblaciones costeras a partir de sus características físicas y no como una función de la intensidad del peligro o de las consecuencias de una determinada amenaza. La principal dificultad en este tipo de análisis es la jerarquización de los elementos que definen la vulnerabilidad debido a que es prácticamente imposible hacerlo de manera universal. En este sentido, la jerarquización que se ha propuesto responde adecuadamente y es de aplicación a la costa mexicana, lo cual no resta universalidad al trabajo puesto que la fundamentación de la importancia de cada elemento se ha realizado con base en información y eventos ocurridos a nivel mundial.

En general, la cuantificación de la vulnerabilidad que se presenta permite ubicar las poblaciones más vulnerables de las costas mexicanas, lo cual es la base para el desarrollo y/o protección o conservación de una región determinada. Asimismo, esta cuantificación puede entenderse como un semáforo de resistencia y resiliencia que puede contribuir al desarrollo de programas de prevención de desastres y a fomentar una conciencia respecto de la conservación de los sistemas bióticos que disminuyen la vulnerabilidad costera.

En particular, las poblaciones con mayor vulnerabilidad se ubican en el Golfo de México a nivel estado en: Yucatán con un índice de vulnerabilidad promedio de 54.6, Campeche (51), Tabasco (50.5), Tabasco y Quintana Roo con el mismo promedio del índice de vulnerabilidad (43.8) y Veracruz (43.1) en orden descendente, y en el Pacífico Chiapas (48.3), Nayarit (47.1), Sonora (44.8), Sinaloa (44.2), Guerrero (43.8), Baja California Sur

(41.8), Colima (41.8), Michoacán (41.5), Jalisco (38.7) y Oaxaca (38.5), también en orden descendente.

Como parte de este trabajo se desarrolló un sistema interactivo de consulta que permite modificar la jerarquía propuesta para que, con base en estudios específicos de sensibilidad, las estimaciones de vulnerabilidad se puedan afinar a nivel local. Asimismo, el sistema permite realizar consultas de manera dinámica a los datos de las poblaciones y tener acceso a la información con que se desarrolló el trabajo.

Las futuras líneas de investigación que se proponen para enriquecer este trabajo se mencionan a continuación.

Definir celdas litorales basadas en procesos, ubicando fuentes y sumideros en cada celda, esto se puede llevar a cabo utilizando los compartimentos litorales que se realizaron en este estudio por tipo de playa y otras características, fusionando o separando los compartimentos para lograr una mejor caracterización del litoral mexicano.

Incorporar otras variables en la evaluación de la vulnerabilidad de la población para disminuir la incertidumbre que pueda tener este trabajo. Estas variables pueden ser: pendiente, uso de suelo, clima, entre otras. El estudio de la resiliencia también es necesario para complementar este trabajo.

Referencias

Angelotti G., 2014. Acciones gubernamentales frente a los desastres provocados por fenómenos hidrometeorológicos en México. Universidad Autónoma de Yucatán. 83 pp.

Badola, R., Hussain, S.A., 2005. Valuing ecosystems functions: an empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India. *Environ.Conserv.*32, 85–92.

BH, Huracán Katrina consecuencias desastres naturales en Estados Unidos, 2014. Historia y Biografías [en línea]. [Citado el 18 de mayo de 2015]. Disponible para World Wide Web:

<http://historiaybiografias.com/katrina/>

Bird, E., 2000. Coastal Geomorphology. An Introduction John Wiley and Sons Ltd., The Atrium Gate, Chichester, Inglaterra, 321 pp.

Bitrán D., Acosta L., Eslava H., Gutiérrez C. y Salas M., 2002. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001. Serie. Impacto socioeconómico de los desastres en México. CENAPRED, 102 pp.

CENAPRED, 2004. Inundaciones. Serie Fascículos. Secretaría de Gobernación, 56 pp.

CENAPRED, 2006. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Secretaría de Gobernación. 166 pp.

CENAPRED, ISEGOB y CEPAL, 2006. Características e impacto socioeconómico de los huracanes “Stan y Wilma” en la República Mexicana en el 2005. 1ra. Edición, octubre, 490 pp.

CEPAL, 2012. Efectos del cambio climático en la Costa de América Latina y el Caribe. Vulnerabilidad y Exposición. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, 174 pp.

CFE, 2016 (en imprenta). Manual de diseño de obras marítimas. Capítulo A.2.17. Tomo III. Comisión Federal de Electricidad. 330 pp.

CONABIO, 2012. Portal de Geoinformación. [en línea]. [Citado en noviembre de 2014]. Disponible para World Wide Web:

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Consejo de Construcción Verde España, 2005. Los principios de Nueva Orleans. Celebrando la rica historia de Nueva Orleans a través del compromiso con un futuro sostenible, 29 pp.

Cuevas A., 2014. Morfodinámica de playas carbonatadas en islas de barrera: vulnerabilidad a la erosión e indicadores para el manejo. Tesis de doctorado. UNAM. 123 pp.

Díaz S., Aragón A., Arreola A., Brito L. y Burrola S., 2008. Análisis de vulnerabilidad del Golfo de California asociado al incremento del Nivel Medio del Mar. Área temática: Estado de las poblaciones y los ecosistemas.

Dolfman M., Fortier S. y Bergman B., 2007. The effects of Hurricane Katrina on the New Orleans economy [en línea] Monthly Labor Review, [citado el 15 de agosto de 2014]. Disponible para World Wide Web:

<http://www.bls.gov/opub/mlr/2007/06/art1full.pdf>

Flores F., Agraz C. y Benitez D., 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación.

Forbes D. and Liverman D., 1996. Geological indicators in the coastal zone. Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth system. Rotterdam, 192 pp.

Fratta D. y Santamarina J., 2006. Daños causados por el huracán Katrina en Biloxi, Mississippi. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol.6 (1) 3.

Furukawa, K., Wolanski, E., Muller, H., 1997. Current and sediment transport in mangrove forest. Estuarine and coastal Shelf Science 44, 301-310.

Gouldby B., and Samuels P., 2005. Language of risk. Project Definitions. FLOOD site Project Report T32-04-01, EU GOCE-CT. European Commission.

Harada K. and Imamura F., 2002. Experimental study in the effect in reducing tsunami by the coastal permeable structures. International Offshore and Polar Engineering conference. May 26-31.

Hernández A. y Bravo G., 2010. Proyecto de fenómenos extremos CSMN CNA [en línea]. [Citado el 29 de abril de 2015]. Disponible para World Wide Web:

<http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2001/pacifico/juliette/juliette.html>

INEGI, 1991. Datos básicos de la geografía de México. Segunda edición, México, 142 pp.

INEGI, 2000. Aspectos geográficos. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Disponible en:

www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2000/aspgeo.pdf

INEGI, 2010. Dirección general de geografía y medio ambiente. Dirección general adjunta de información geográfica básica. Compendio de criterios y especificaciones

técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental. 10. Marco Geoestadístico, 10.1 Marco Geoestadístico Nacional. 15 pp.

INEGI, 2011. Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. Quintana Roo, 83 pp.

Jacob J., 2010. Urbanización resiliente – Primera respuesta al cambio climático en las costas del Golfo de México. Instituto de ecología A. C. (INECOL), Texas Sea Grant Program e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 67- 90 pp.

Kamdasamy K. y Rajendran N., 2005. Coastal mangrove forest mitigated tsunami. Centro de estudios avanzados en biología marina y Universidad Annamalai, 601-606 pp.

Lara J., 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. 109- 134 pp.

Laso Bayas, J.C., Marohn, C., Dercon, G., Dewi, S., Piepho, H.P., Joshi, L., Van Noordwijk, M., Cadisch, G., 2011. Influence of coastal vegetation on the 2004 tsunami wave impact Aceh. Proc. Natl. Acad. Sci. 108, 18612 – 18617.

Longshore D., 2008. Encyclopedia of Hurricanes Typhoons, and Cyclones, New Edition, 453 pp.

Martínez G. y Mayer L., 2004. Huracanes en Baja California, México y sus implicaciones en la sedimentación en el Golfo de California. GEOS, 2004, Vol. 24, No. 1, 57-64 pp.

Martínez M., Moreno P., Espejel I., Jiménez O., Infante D. y Rodríguez N., 2004. Diagnóstico de las dunas costeras de México. SEMARNAT y CONAFOR, 350 pp.

Mascarenhas A, Jayakumar S., 2007. An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forest. Journal of environmental management, 11 pp.

Maskrey A. 1993. Los desastres no son naturales. La red, 73 pp.

Mazda Y., Magi M., Kogo M. y Hong P.N., 1997. Mangrove on coastal protection from waves in the Tong King Delta, Vietnam. Mangroves and Salt Marshes 1, 127-135 pp.

McFadden L., Nicholls R. and Penning E., 2007. Managing coastal vulnerability. Elsevier. 312 pp.

Molina C., Rubinoff P. and Carranza J. 1998. Normas prácticas para el desarrollo turístico de la zona costera de Quintana Roo, México. Centro de recursos costeros, URI. 93 pp.

Oliver J., M. Noordeloos, Yusuf, Y. M. Tan, N. Nayan, C. Foo y F. Shahriyah. ReefBase: A Global Information System on Coral Reefs. 2004. Disponible en:

<http://www.reefbase.org>

Ortiz M. y de la Lanza G. Diferenciación del espacio costero de México. Un inventario regional. Geografía para el siglo XX. Serie Textos Universitarios, Núm. 3, IG-UNAM, México, 138 pp.

Ortiz M. y Méndez A., 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del golfo de México y Mar Caribe. El Manejo costero en México. Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche. 307-320 pp.

Palafox A. y Gutiérrez A., 2013. Cambio climático y desarrollo turístico. Efectos de los huracanes en Cozumel, Quintana Roo y San Blas, Nayarit. Universidad Autónoma de Aguascalientes, 12 pp.

Peña J., 2007. Guía técnica de estudios litorales. Manual de Costas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 654 pp.

Romo L., 1996. Riesgos sociales y vulnerabilidad social en Tijuana, B.C. Tesis de maestría. Colegio de la frontera norte. 155 pp.

Sánchez A, Jiménez J. y Valdemoro H., 2007. The vulnerability and sustentability of Deltaic coast: The case of the Ebro Delta, Spain.

Sánchez O., Herzig M. y Peters E., 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. INE – SEMARNAT.

SEGOB, CEPAL, CENAPRED y gobierno del estado de Tabasco, 2008. Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4. Resumen. mayo, 10 pp.

SEMARNAT y CONAFOR, 2014. Diagnóstico de las dunas costeras de México. 338 pp.

SEMARNAT, 2013. Manejo de ecosistemas de dunas costeras criterios ecológicos y estrategias, 97 pp.

Shofiyati R., Dewanti R., Kristijono A. and Wahyunto, 2005. Tsunami effect in Nanggroe Aceh Darussalam and North Sumatra provinces, Indonesia. Asian Journal Geoinformatics, Vol. 5, No. 2., 16 pp.

Silva R. (en edición). Volumen A. Aspectos generales de la zona costera. 35 pp.

Silva R., Mendoza E., Escalante-Mancera, E., Marino-Tapia, I. y Ruiz-Rentería, F., 2009. Wind waves induced by hurricane Wilma in Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Ingeniería Hidráulica en México, 24(2): 93-109 pp.

Silva R., Martínez M., Hesp P., Catalan P., Osorio A., Martell R., Fossati M., Miot G., Mariño I., Pereira P., Cienguegos R., Klein A. and Govaere G., 2014a. Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. *Journal of Coastal Research*. Coconut Creek, Florida. 16 pp.

Silva R., Villatoro M., Ramos F., Pedroza D., Ortiz M., Mendoza E., Delgadillo M., Escudero M., Félix A. y Cid. A., 2014b. Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable. Instituto de ingeniería UNAM y SEMARNAT. 177 pp.

Spalding M. D., C. Ravilious y E.P. Green. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC- UNEP. University of California Press. Berkeley. USA.

Srinivas H. y Nakagawa Y., 2007. Environmental implications for disaster preparedness: Lessons learnt from the Indian Ocean Tsunami. *Journal of Environmental Management*, 10 pp.

Torres, M.A., Jaimes, M.A., Reinoso E. and Ordaz M., 2014. Event-based approach for probabilistic flood risk assessment. *International Journal of River Basin Management*, 13 pp.

Torruco D., González M. Torruco A., 2013. Las playas de Quintana Roo: sus riesgos y vulnerabilidad. *El Periplo Sustentable*, núm. 24, 155-172 pp.

Tun J., Perdigón T., Chalé G. y Gil C., 2012. Impacto socioeconómico del huracán Wilma en la localidad de Playa del Carmen. *Observatorio Urbano de la Riviera Maya*. 52 pp.

Ulloa K., 2014. Huracán Katrina toca Nueva Orleans. *Sexenio*. [en línea]. [Citado el 18 de mayo de 2015]. Disponible para World Wide Web:

<http://www.sexenio.com.mx/articulo.php?id=51962>

UNESCO IOC, 2010. Aumento y variabilidad del nivel del mar. Resumen para responsables de políticas. 8 pp.

UNISDR, United nations office for disaster risk reduction. *Global assessment report on disaster risk reduction*. Geneva: United nations international strategy for disaster reduction.

Wielgus J., Cooper E., Torres R. y Burke L., 2010. *Capital Costero: República Dominicana*. Estudios de caso sobre el valor económico de los ecosistemas costeros en la República Dominicana. World Resources Institute. 50 pp.

WI-IP, 2005. *Tsunami in Aceh and North Sumatra*. Bogor, Wetlands International – Indonesia Programme.

Xbloc, 2006. Protección eficiente contra el oleaje y el oleaje en diques rompeolas y líneas de costa. *Delta marine consultants*. 8 pp.

Yáñez A., 2010. Impactos del cambio climático sobre la zona costera. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. 70 pp.

Young, I. R. and Hardy, T. A., 1993. Measurement and modelling of tropical cyclone waves in the Great Barrier Reef. Coral Reefs, 85-95 pp.

Zenteno M., Avelar C. y Reinoso E., 2006. Estadísticas de los daños por vientos causados a las estructuras por el huracán Wilma en el Caribe Mexicano. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 18 pp.

ANEXO 1

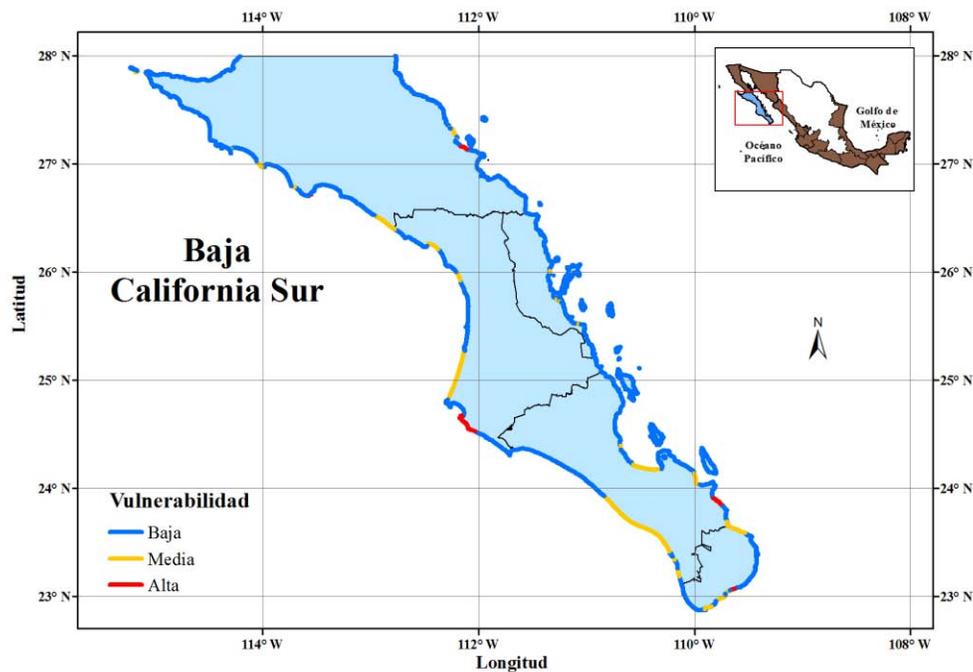


Figura anexo 1.1 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

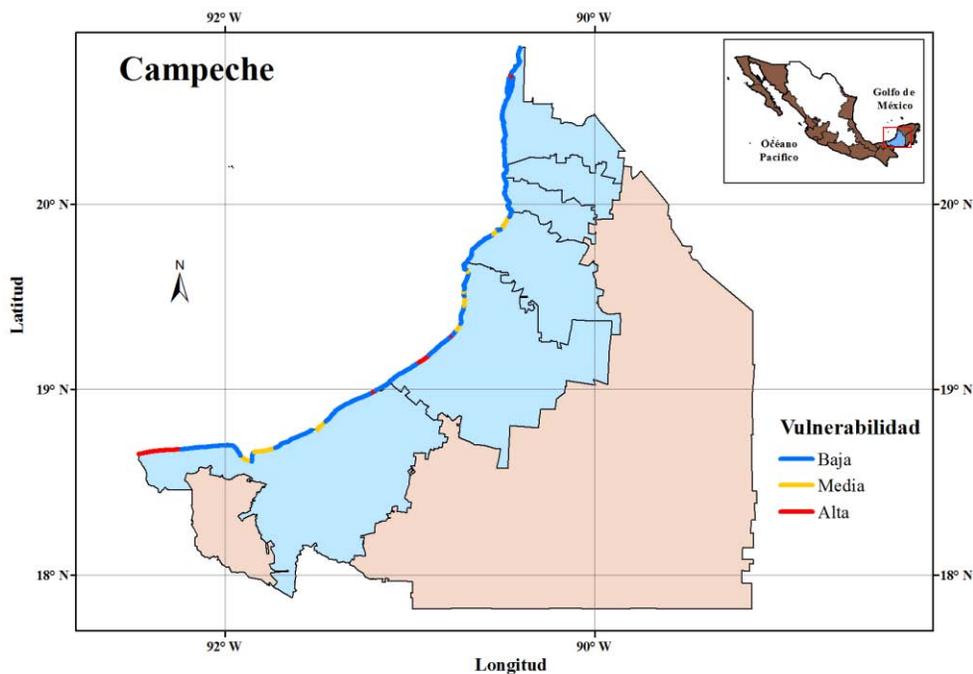


Figura anexo 1.2 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

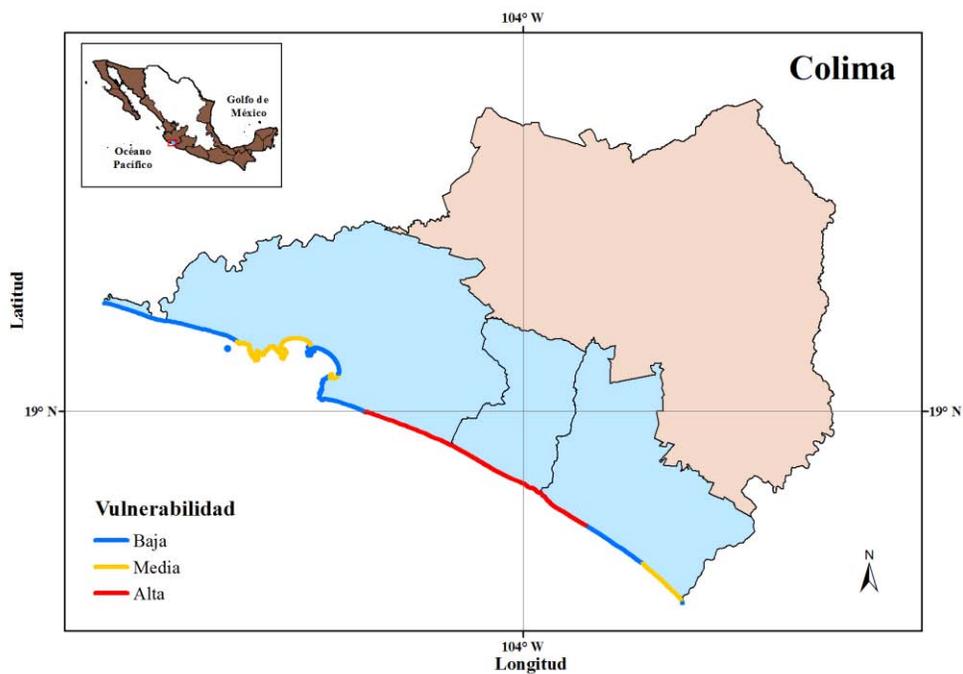


Figura anexo 1.3 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

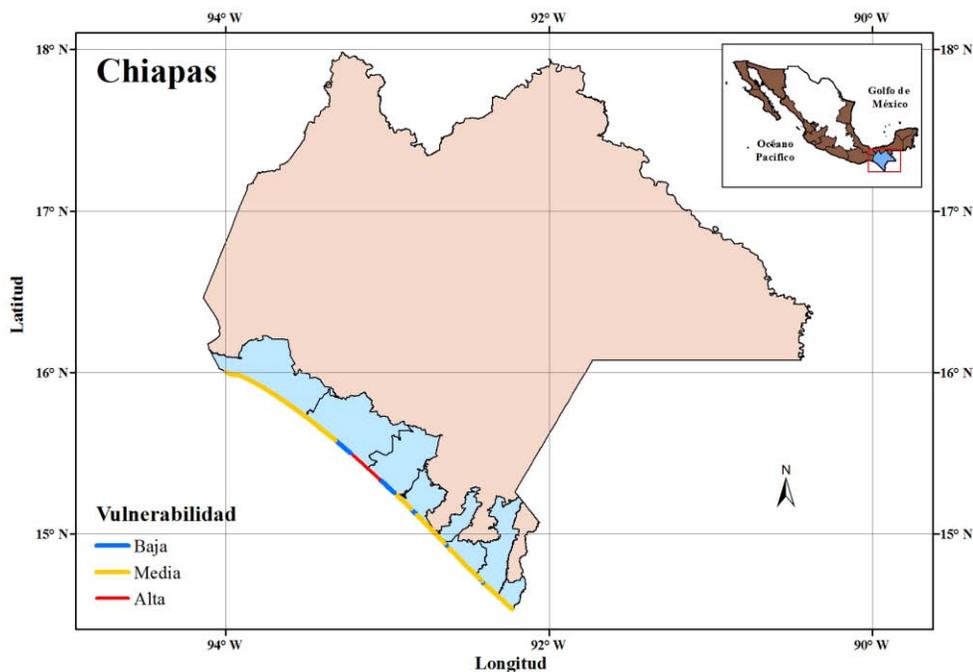


Figura anexo 1.4 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

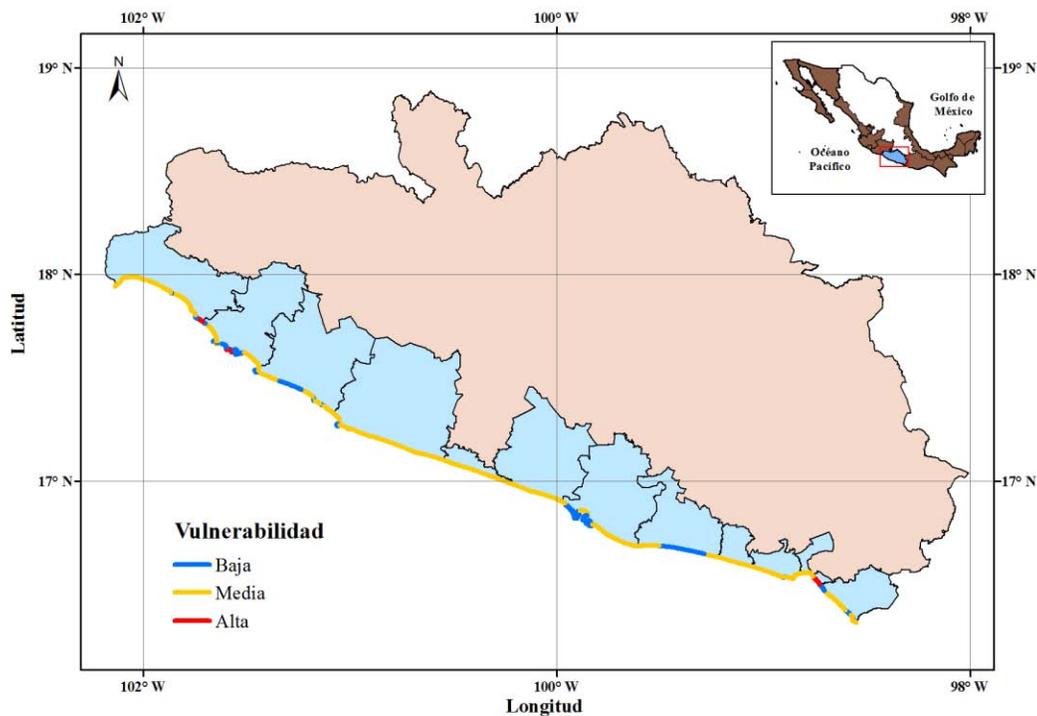


Figura anexo 1.5 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

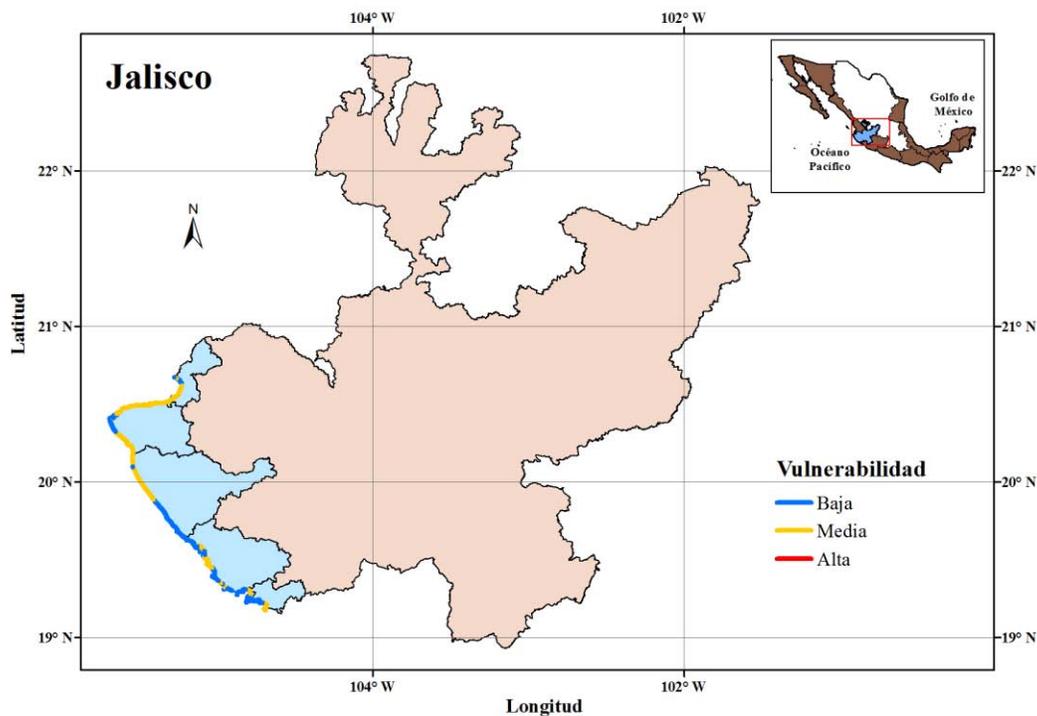


Figura anexo 1.6 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

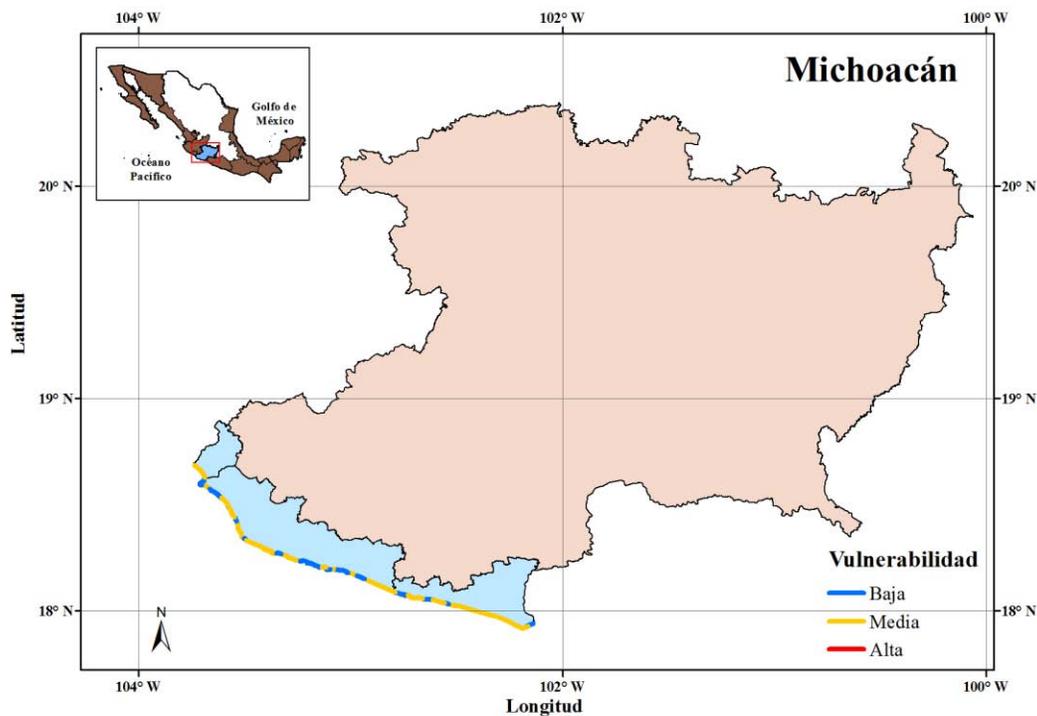


Figura anexo 1.7 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

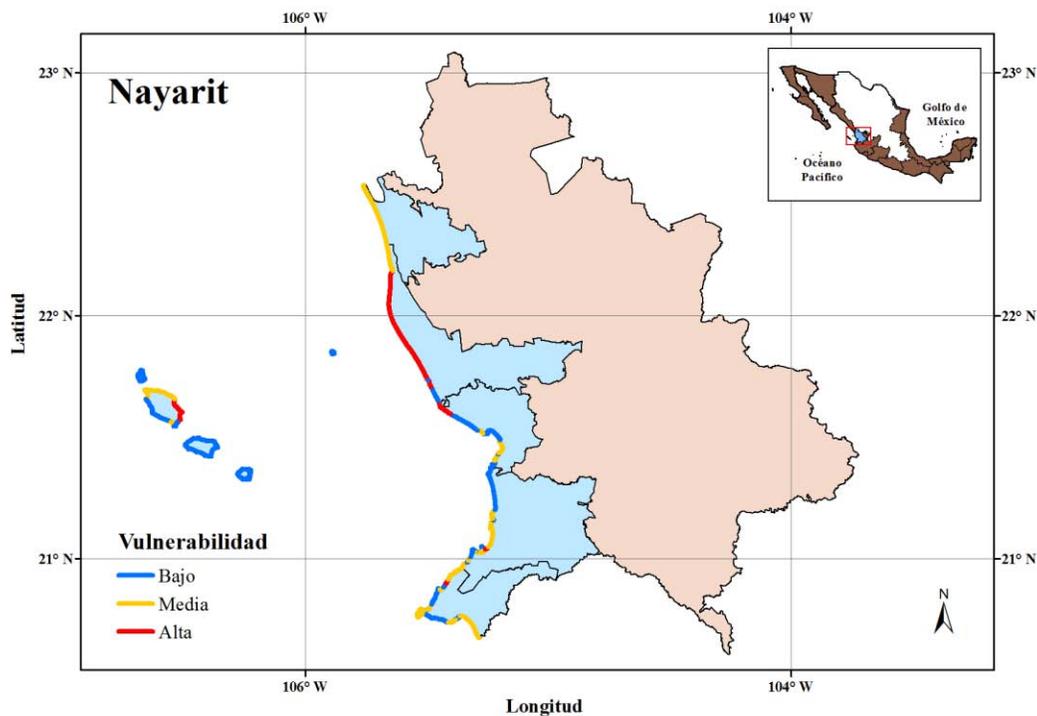


Figura anexo 1.8 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

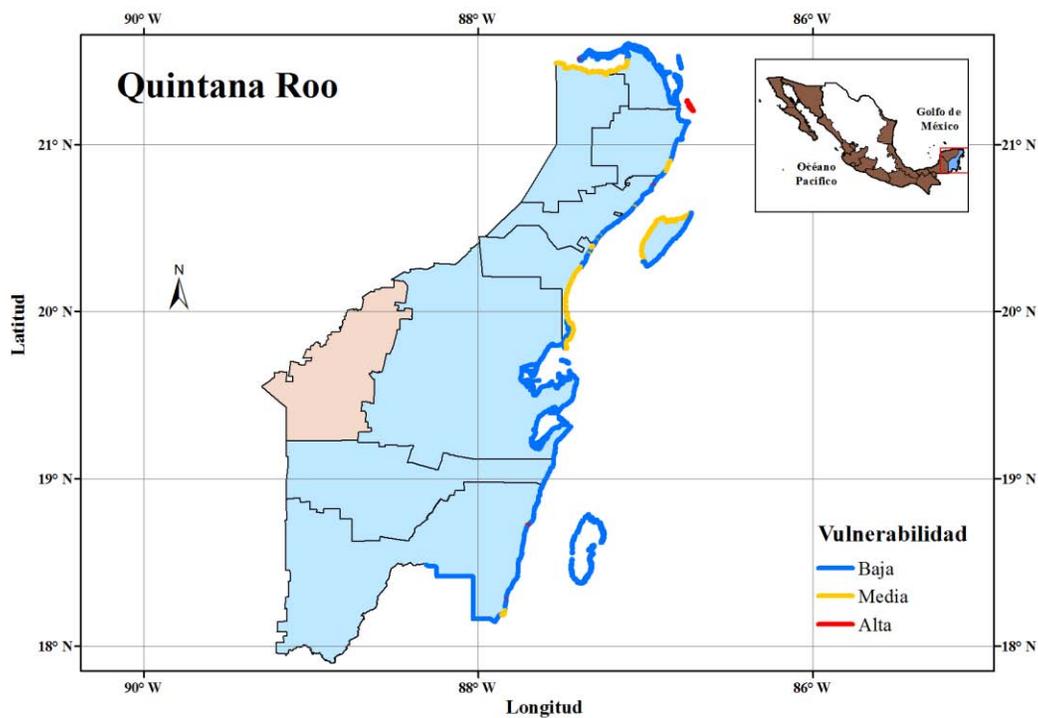


Figura anexo 1.9 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

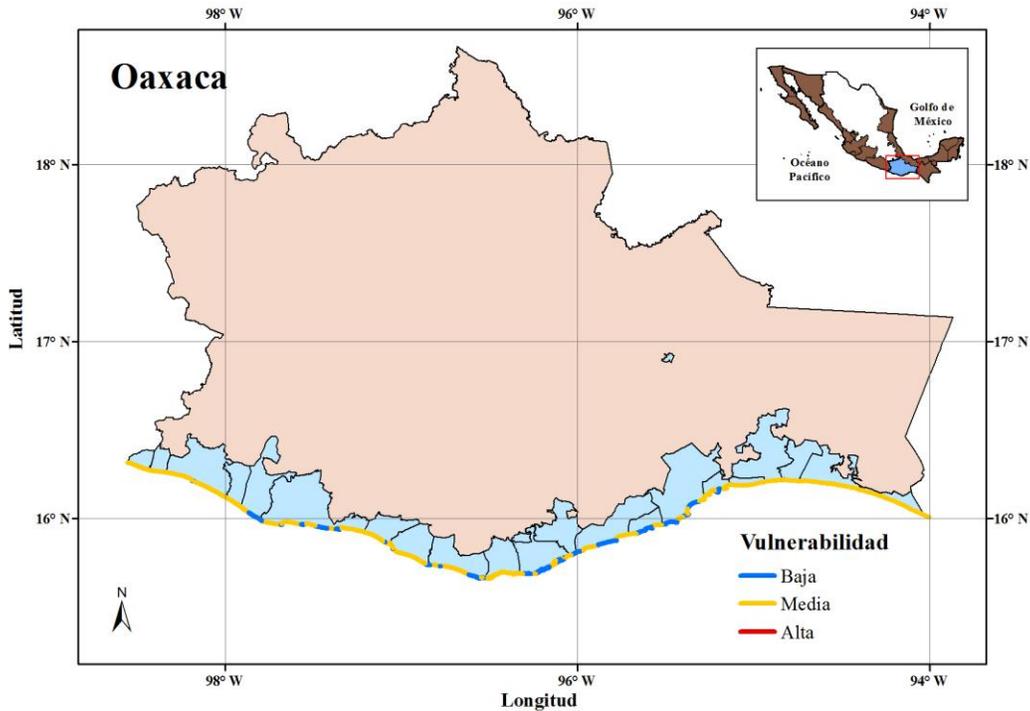


Figura anexo 1.10 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

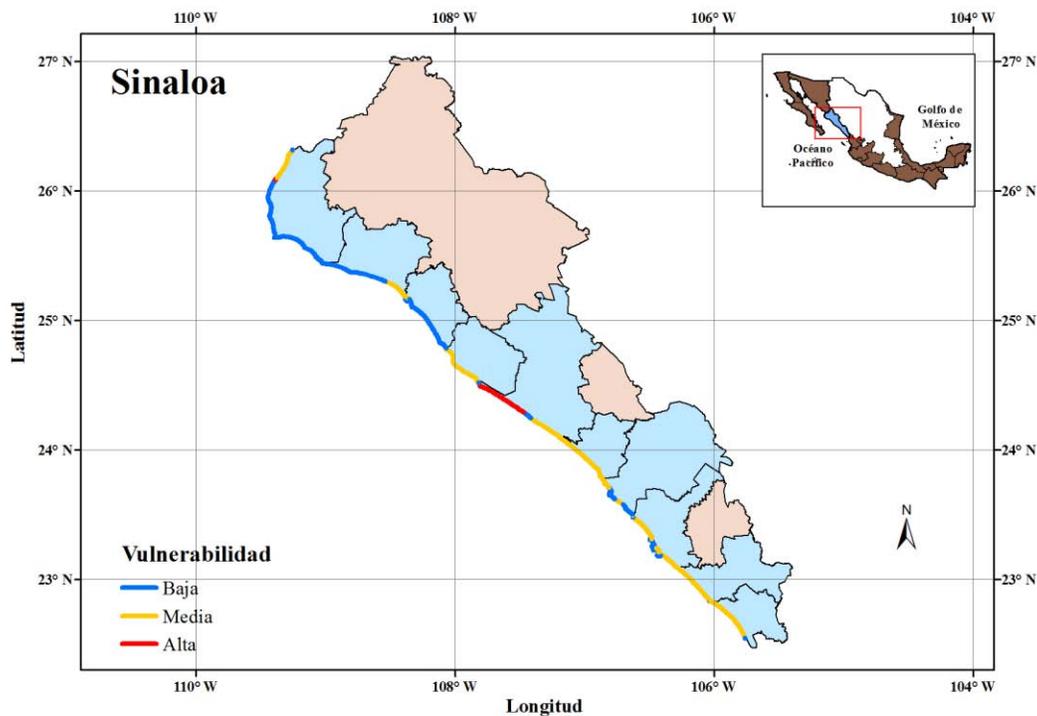


Figura anexo 1.11 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

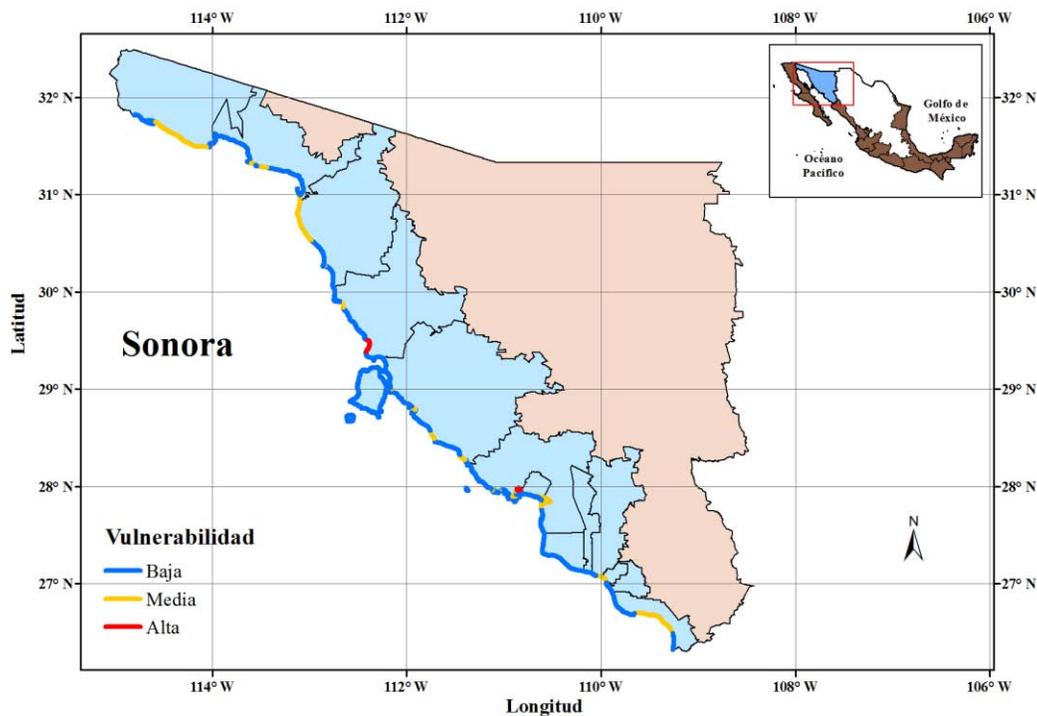


Figura anexo 1.12 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

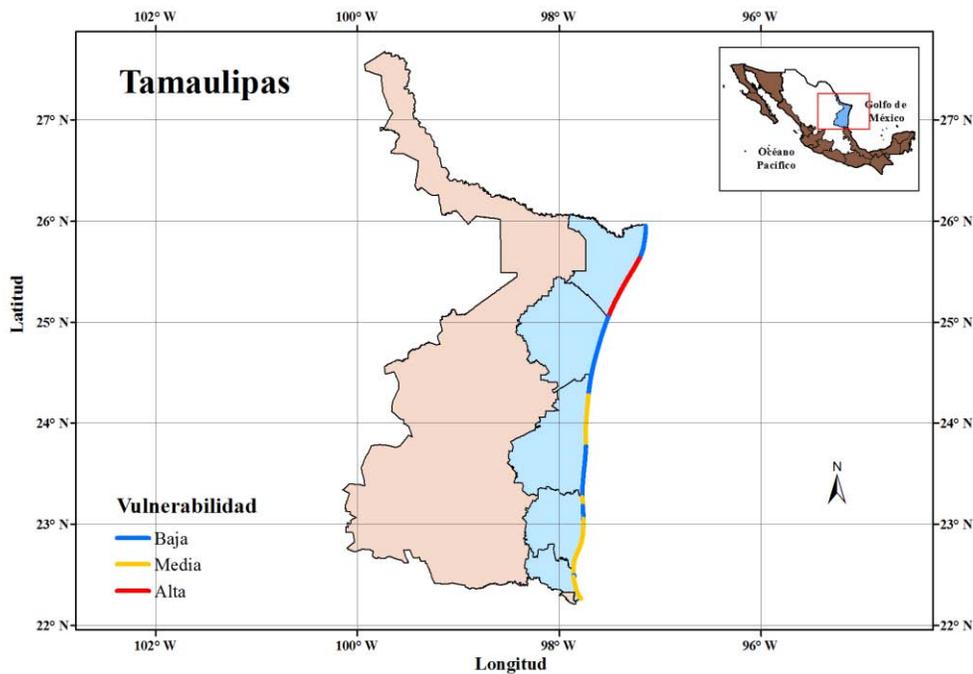


Figura anexo 1.13 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

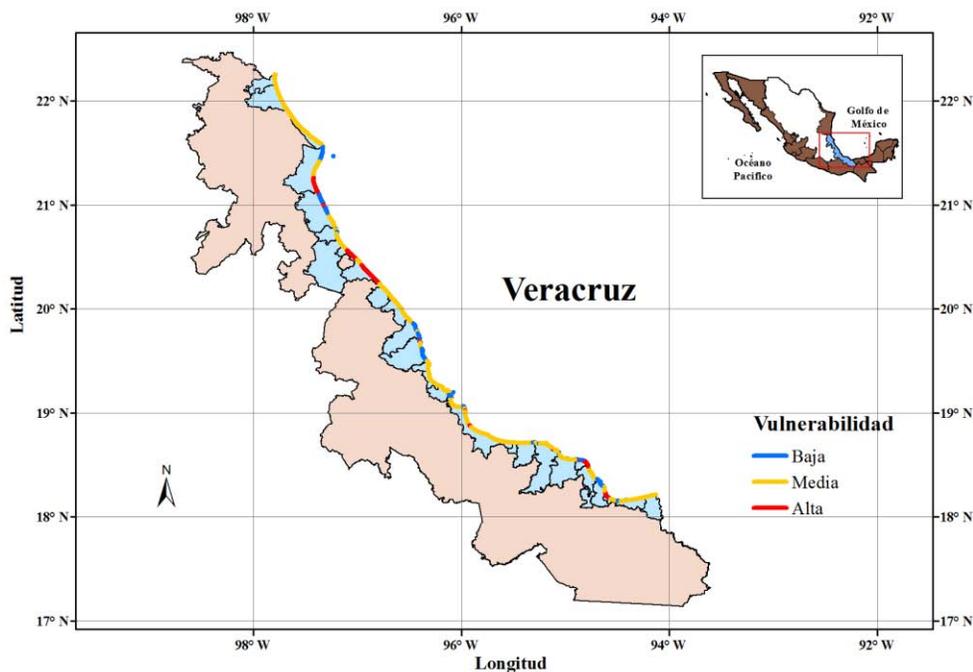


Figura anexo 1.14 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

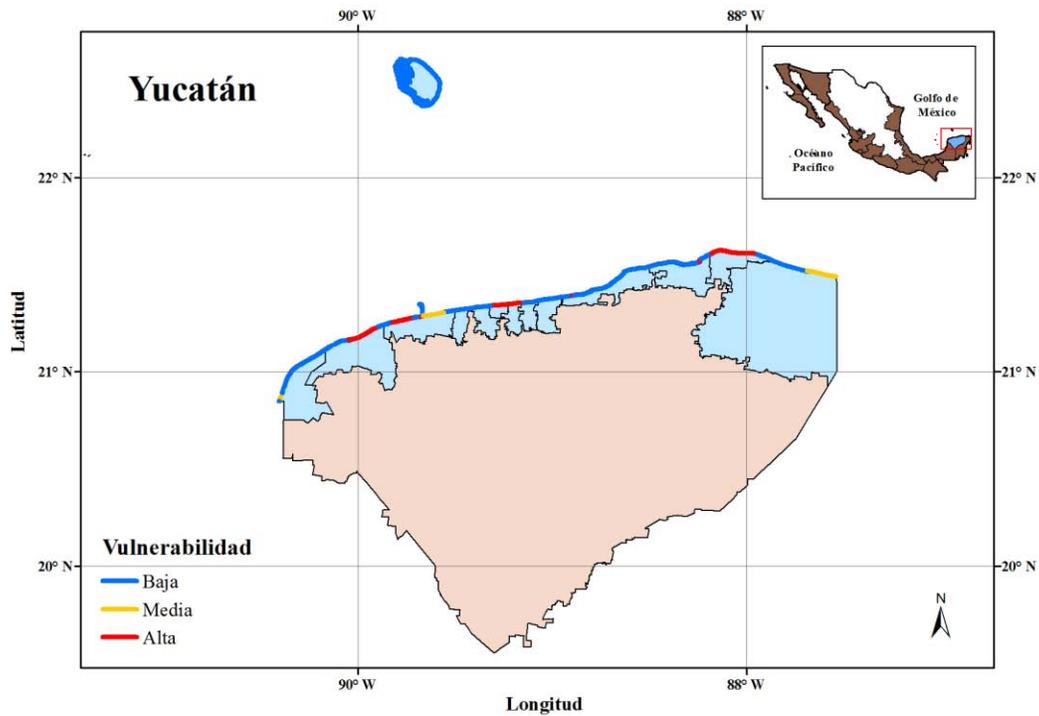
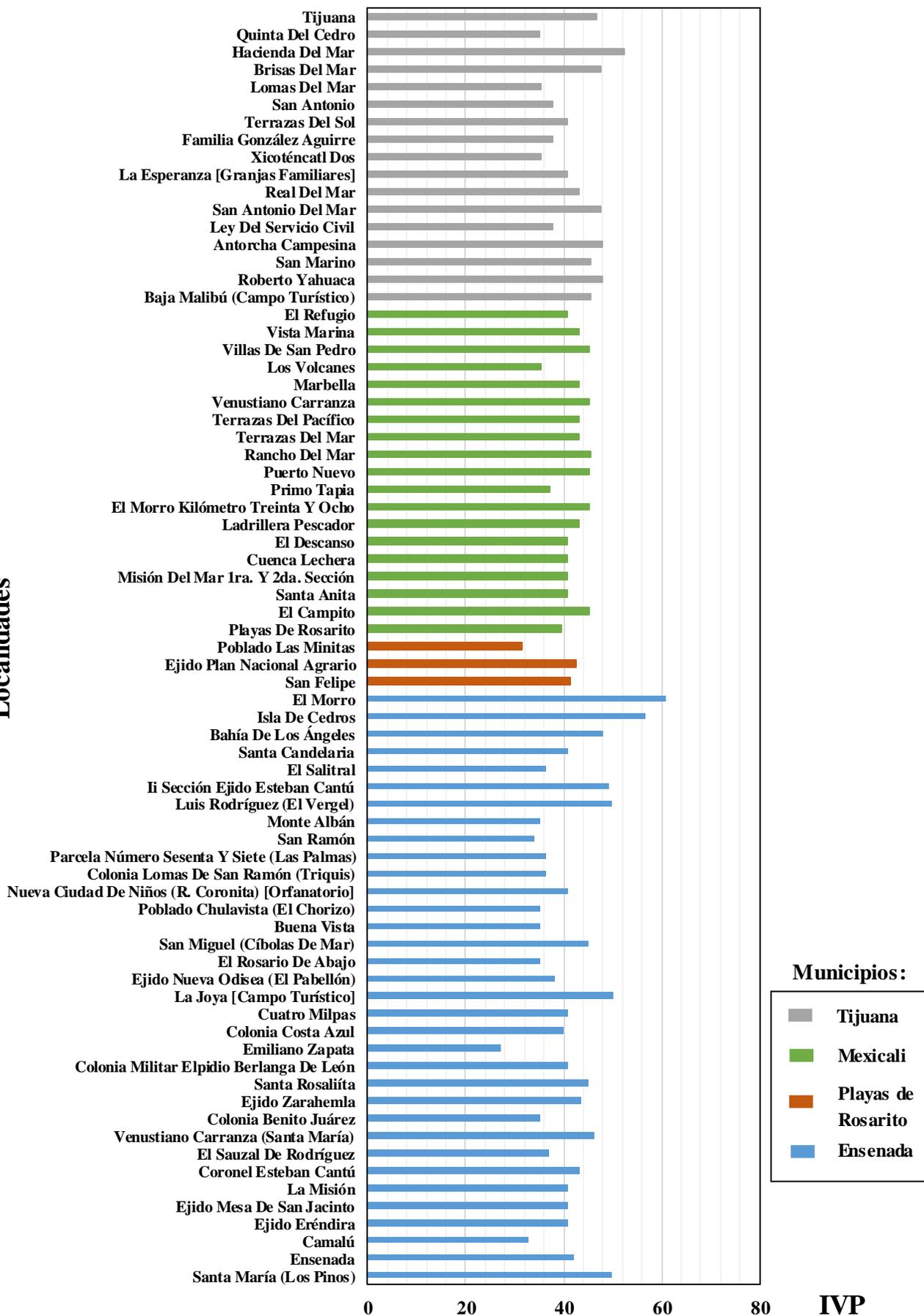


Figura anexo 1.15 Distribución del índice de vulnerabilidad de la población por compartimento litoral, mostrado a nivel estatal.

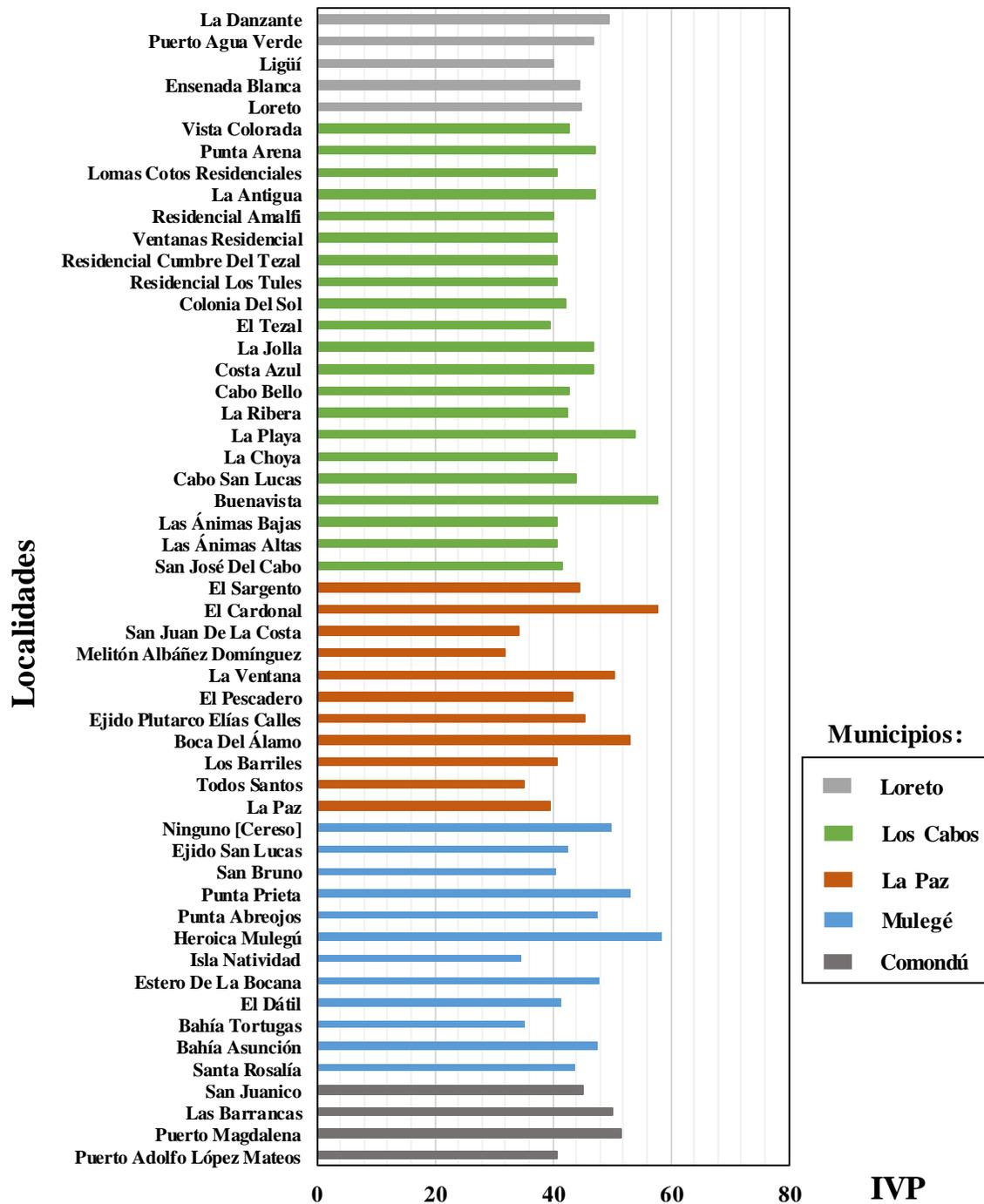
Baja California

Localidades

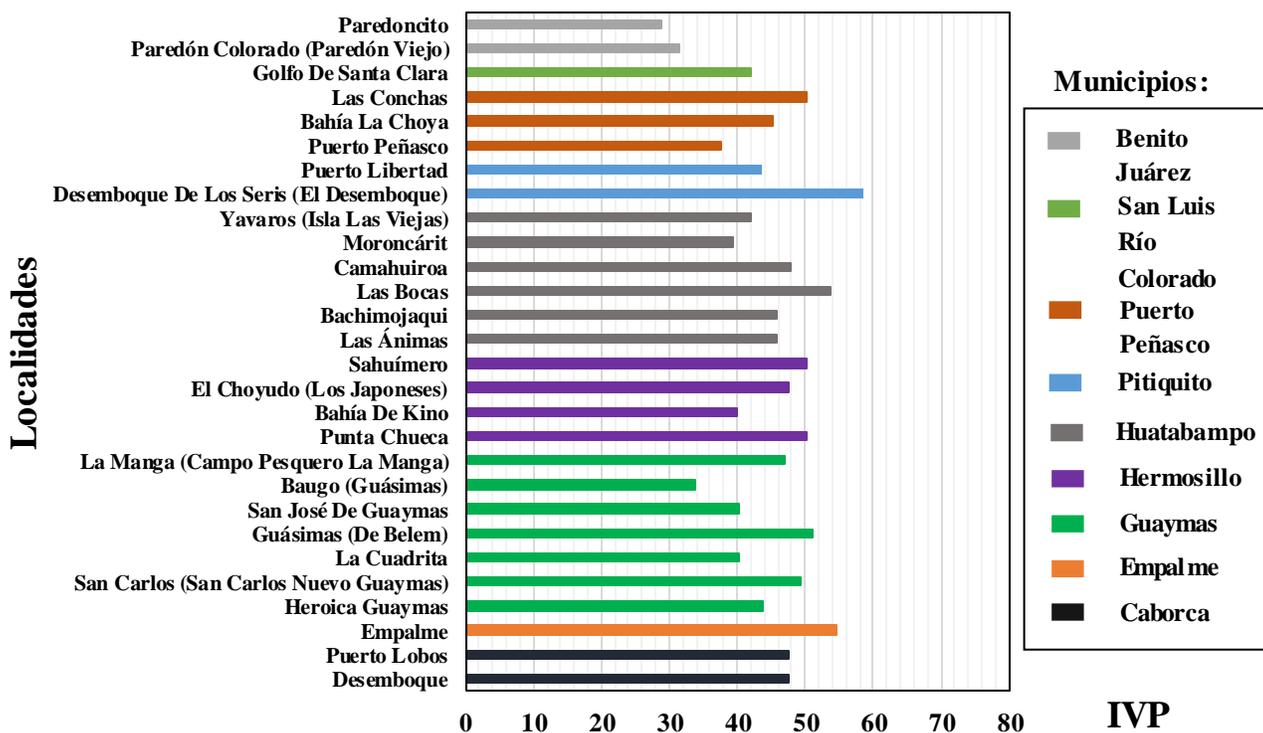


IVP

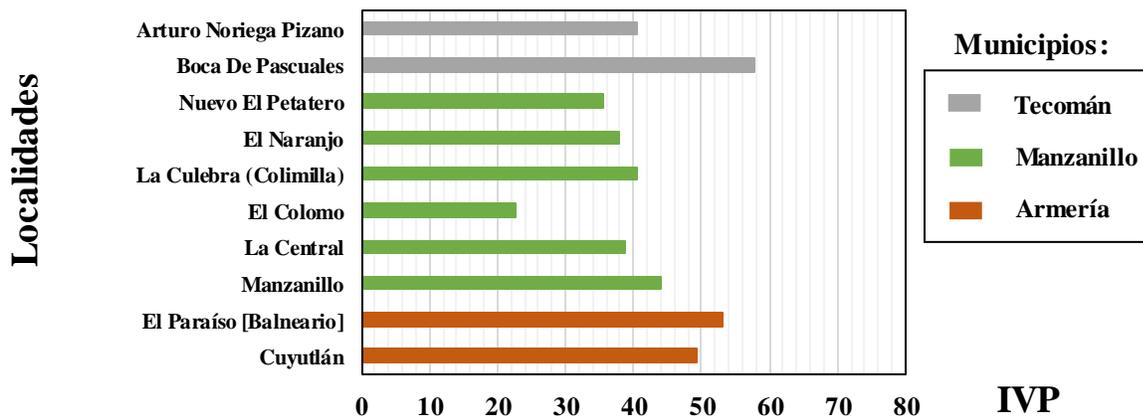
Baja California Sur



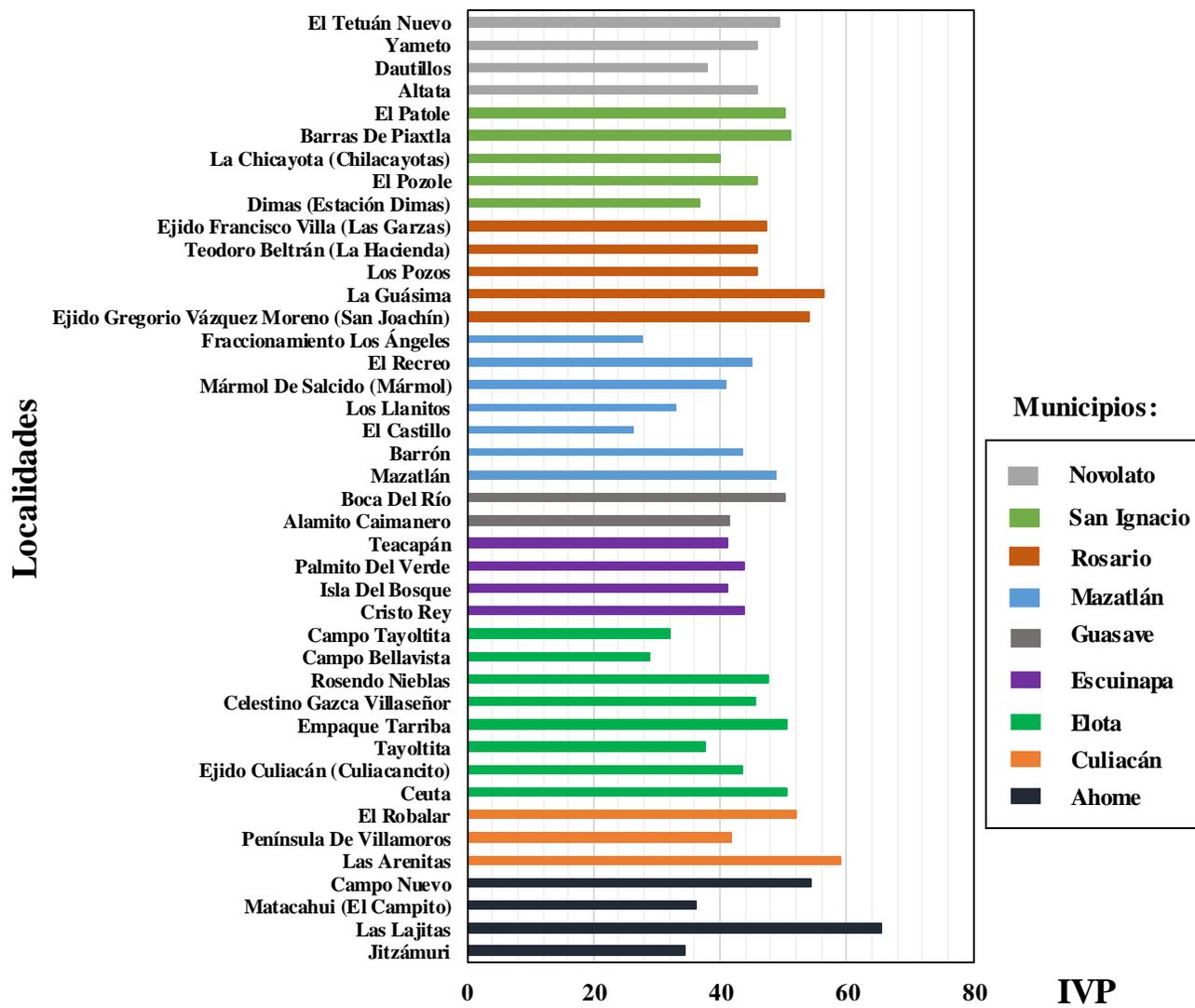
Sonora



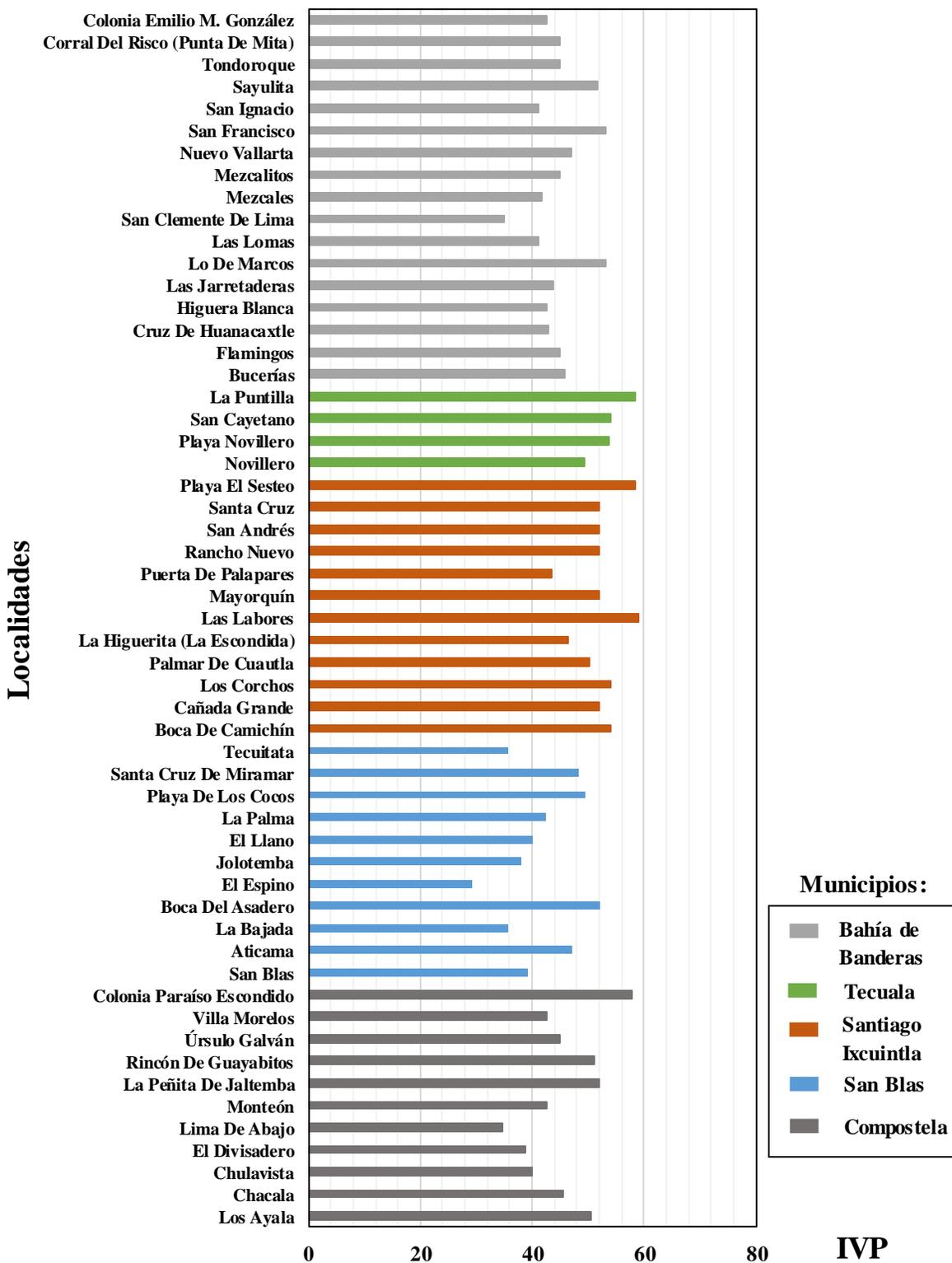
Colima



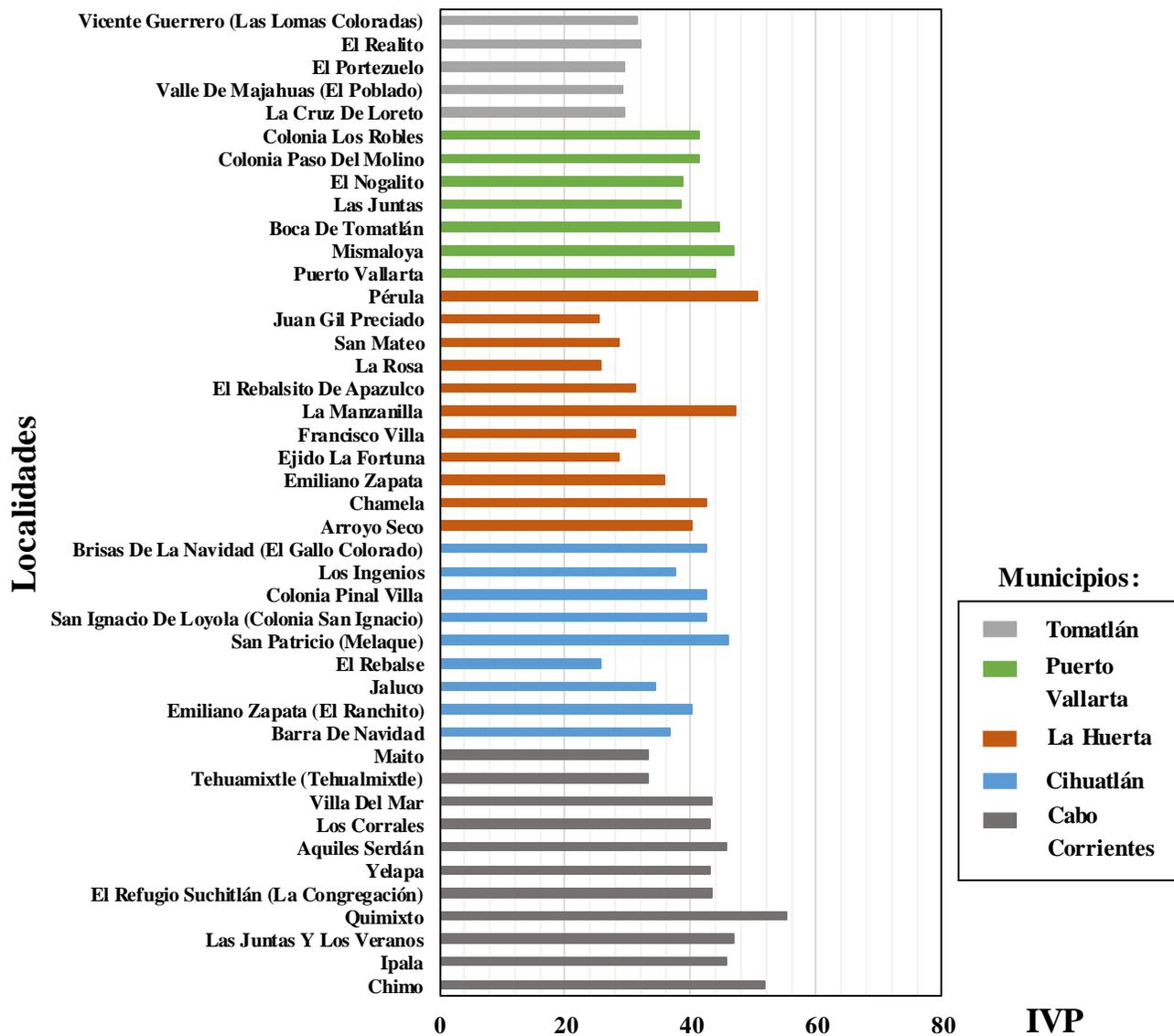
Sinaloa



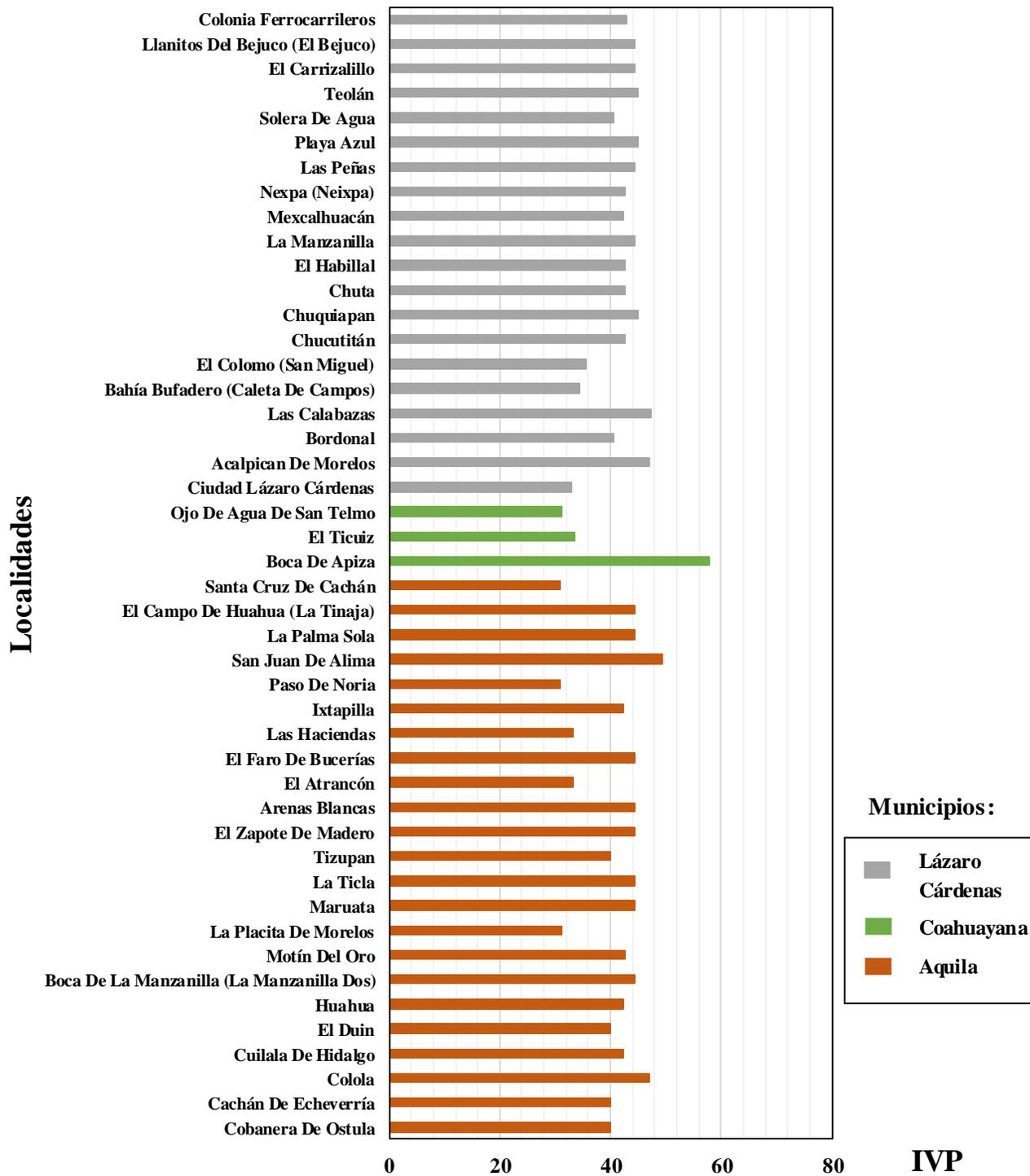
Nayarit



Jalisco

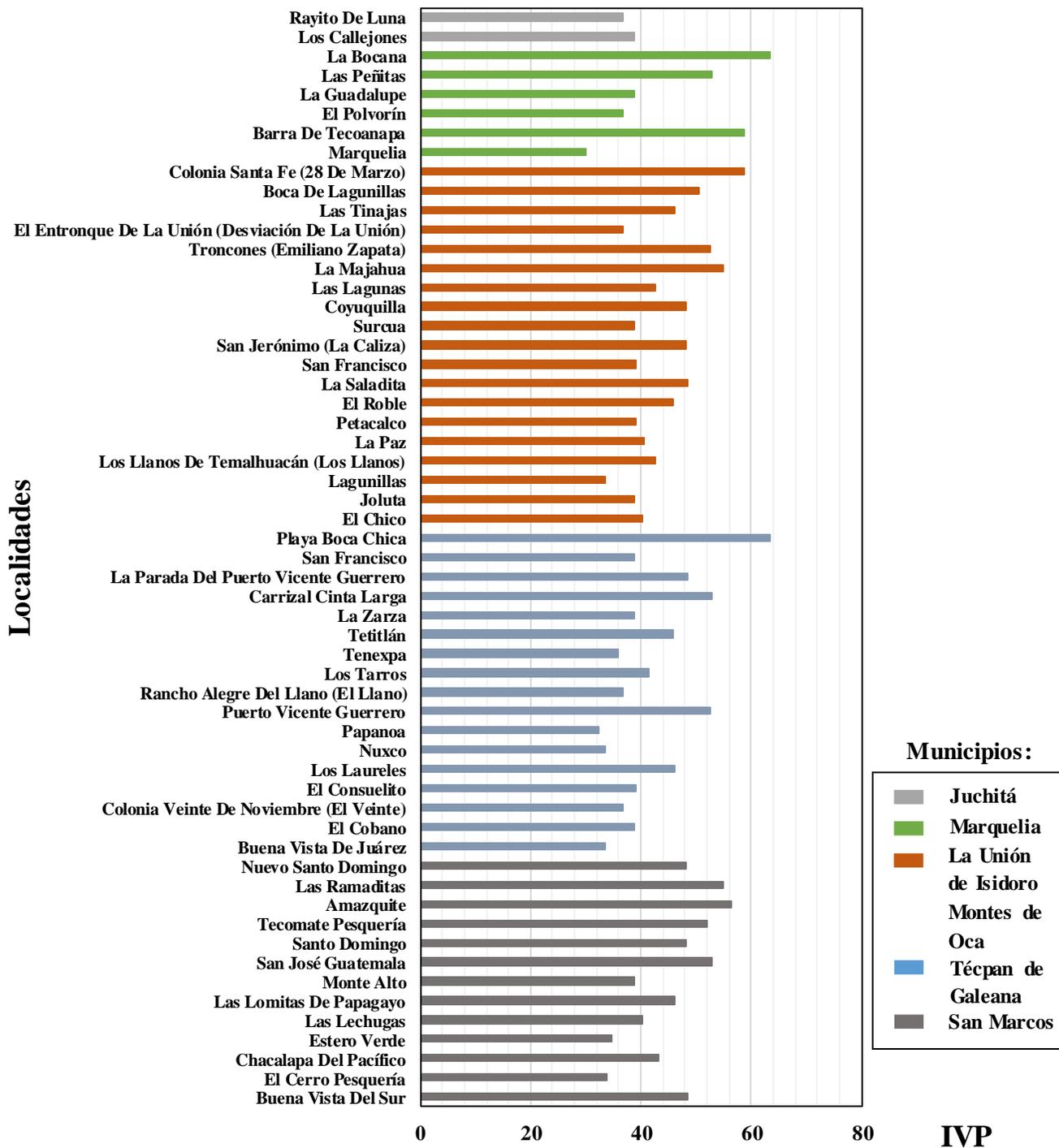


Michoacán

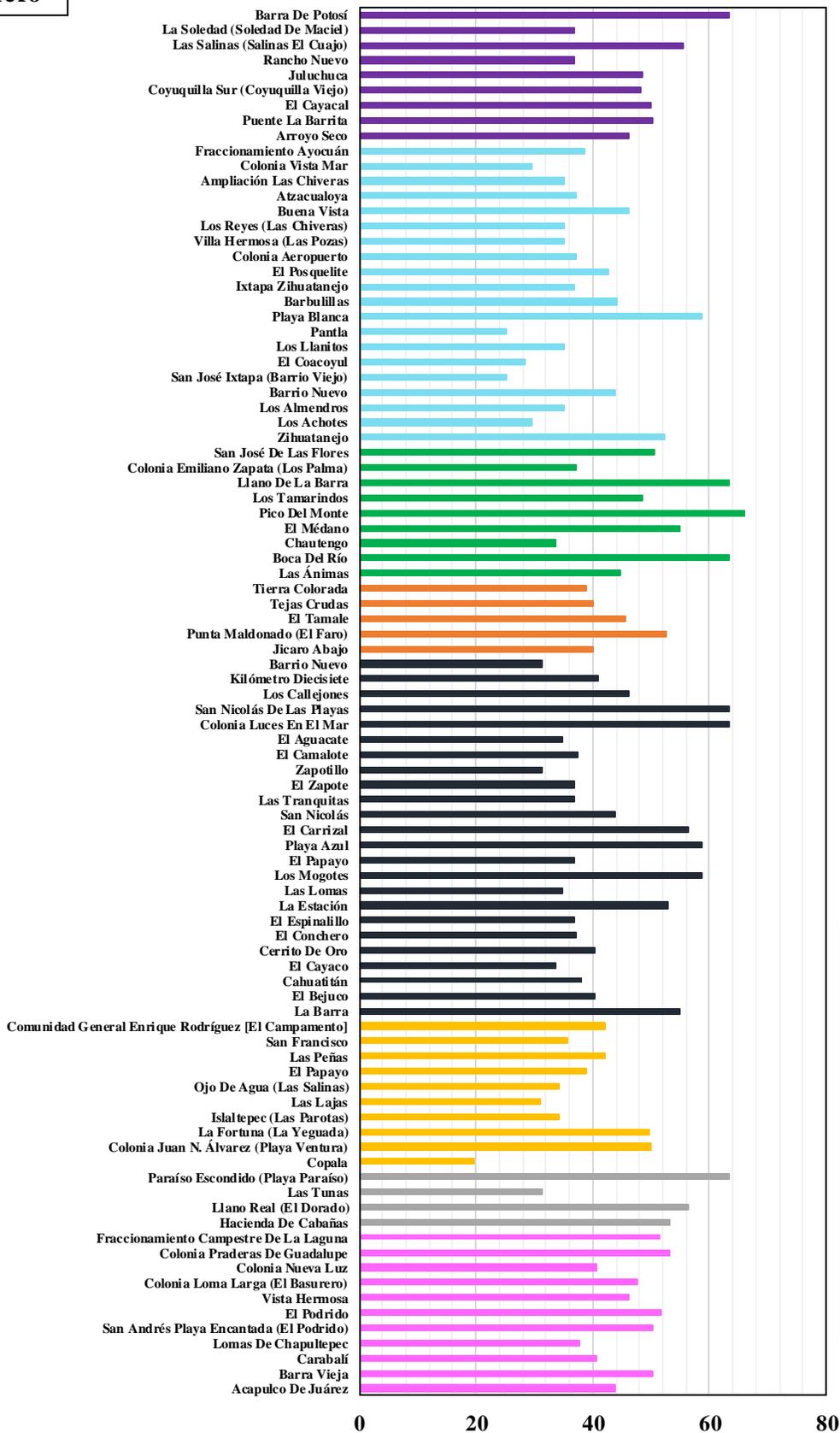


Guerrero

Parte 1



Localidades



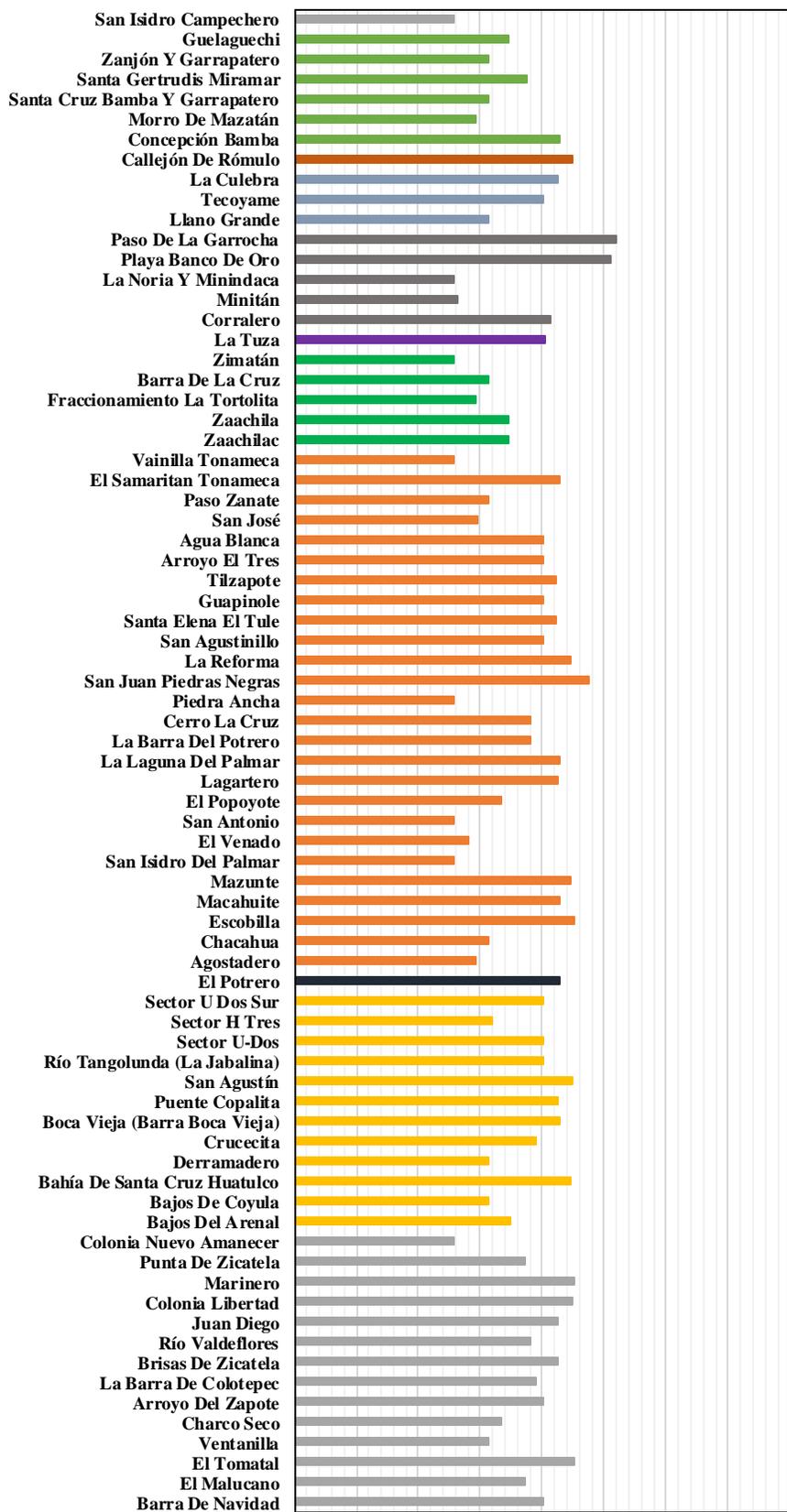
Municipios:



IVP

Oaxaca

Localidades

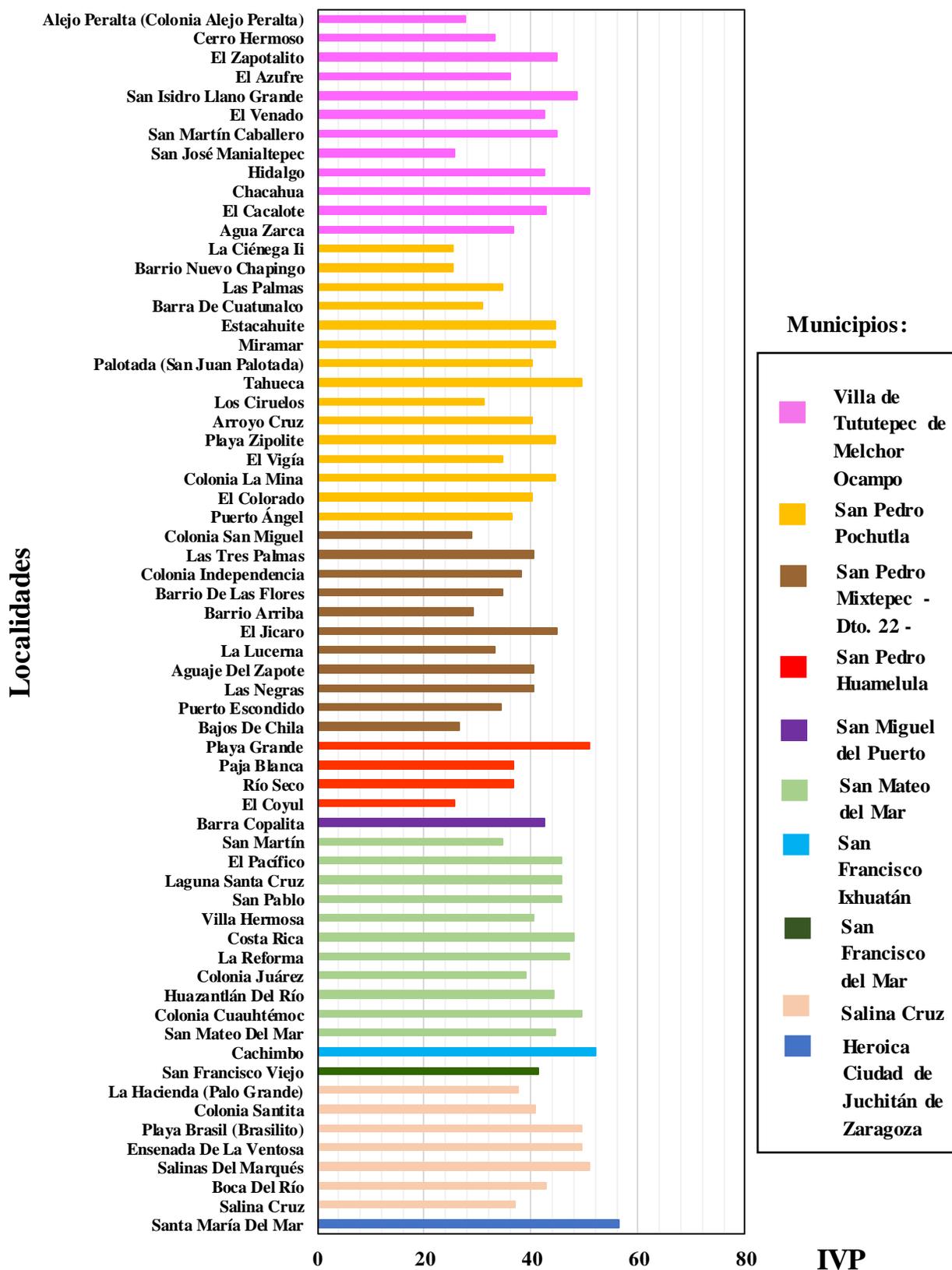


Municipios:



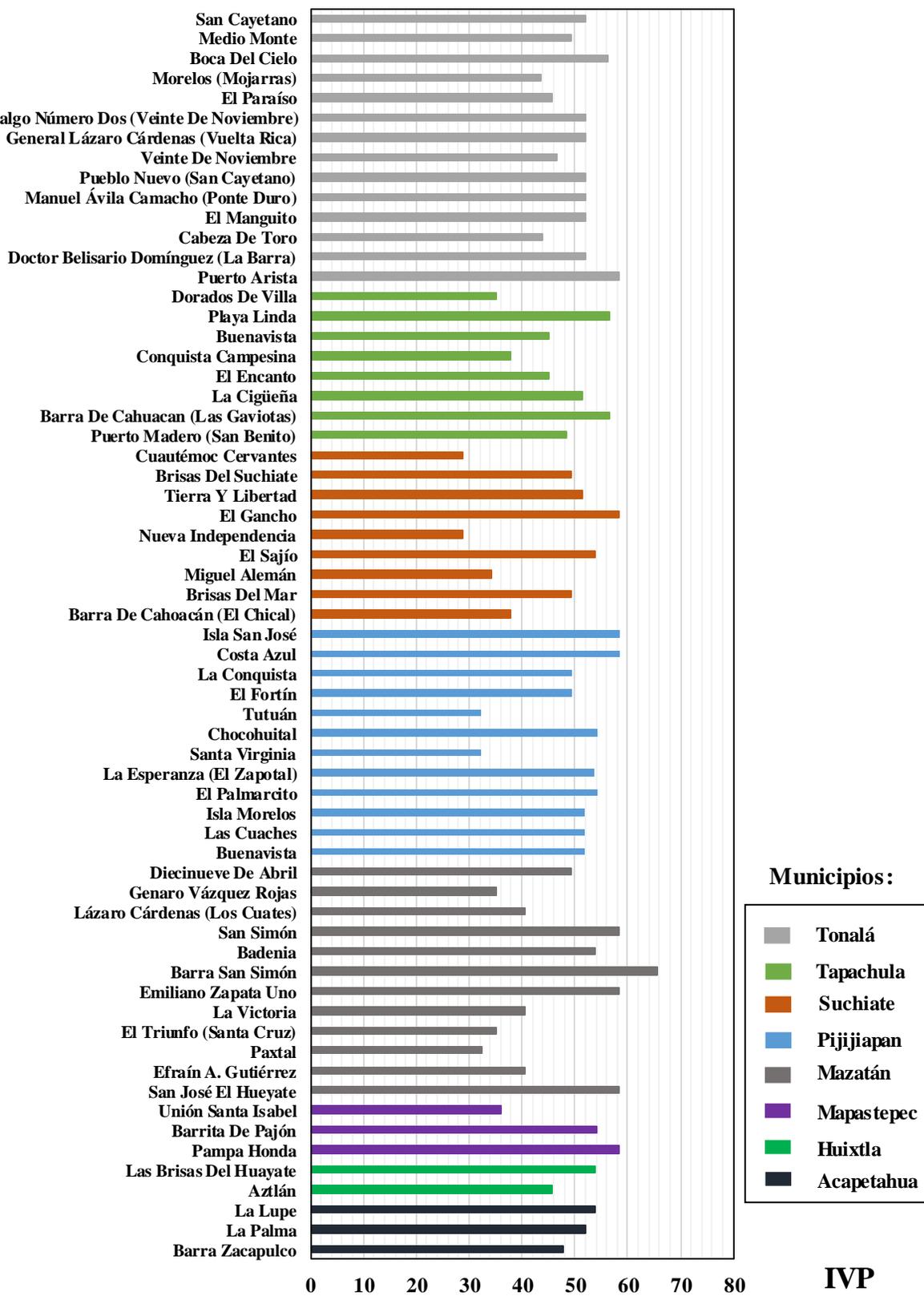
0 10 20 30 40 50 60 70 80 IVP

Oaxaca

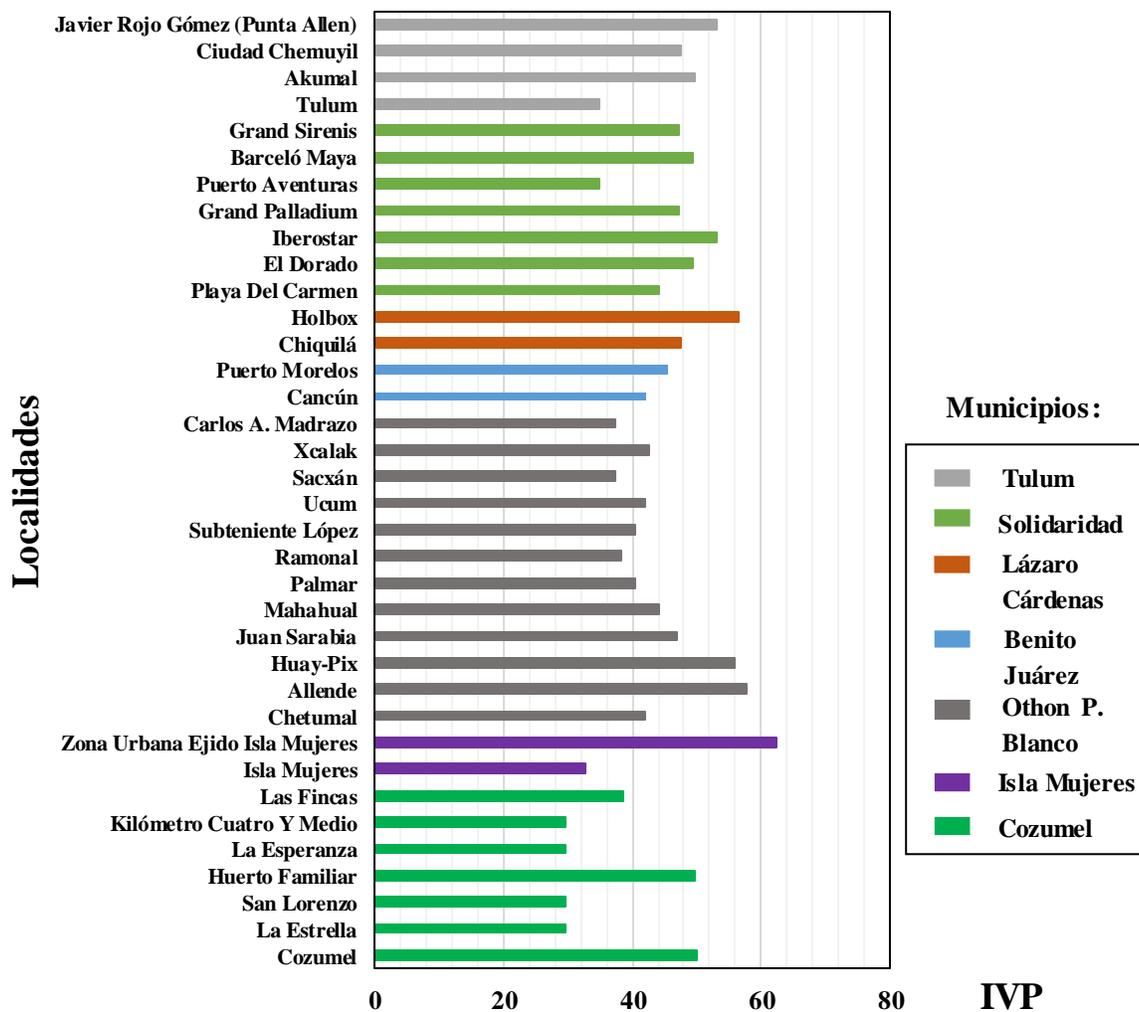


Chiapas

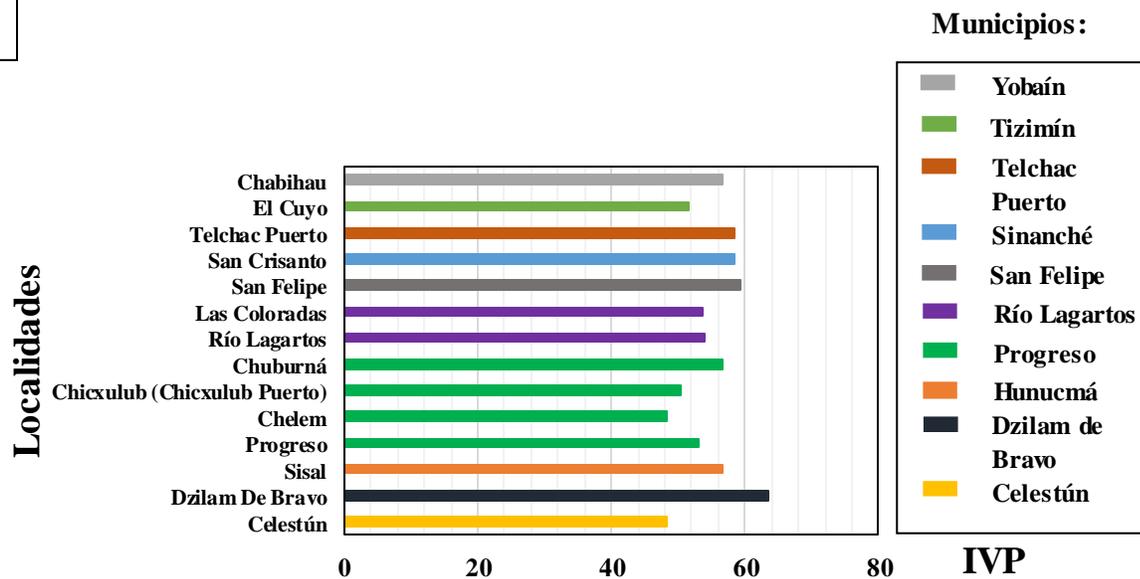
Localidades



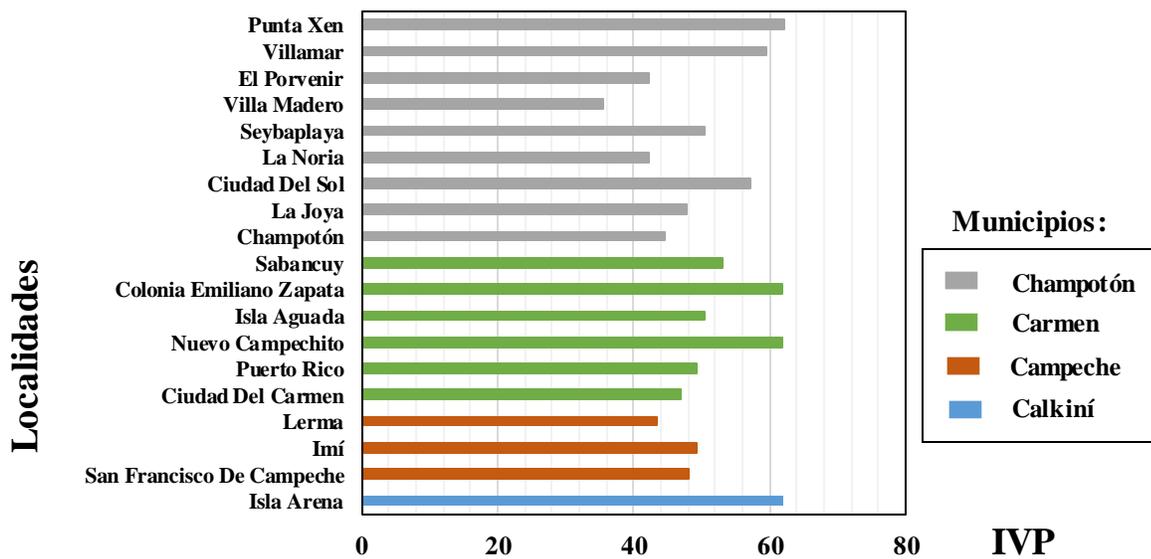
Quintana Roo



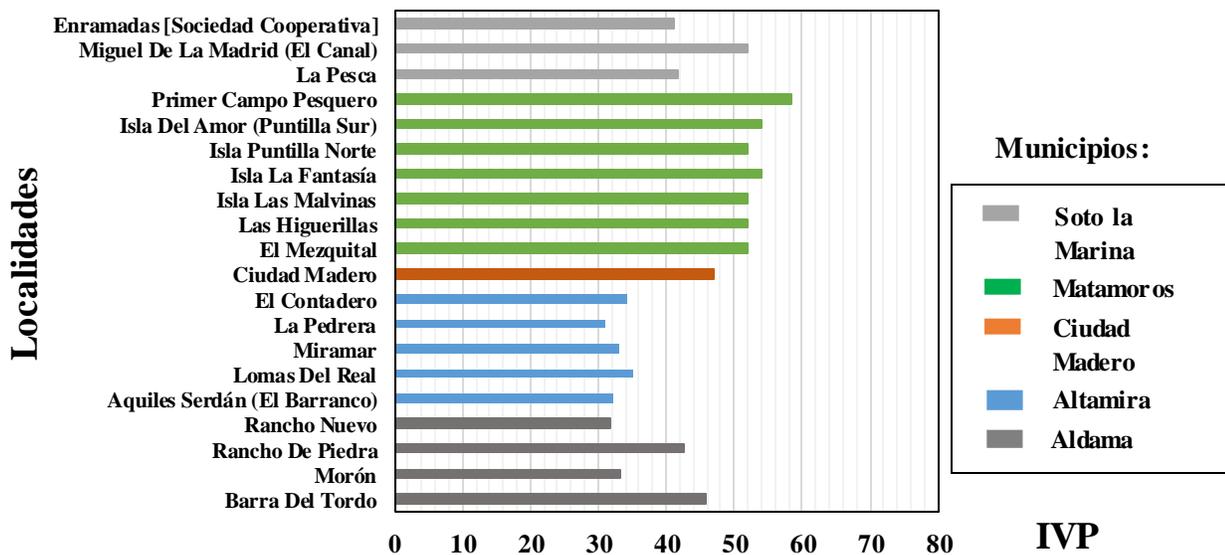
Yucatán



Campeche

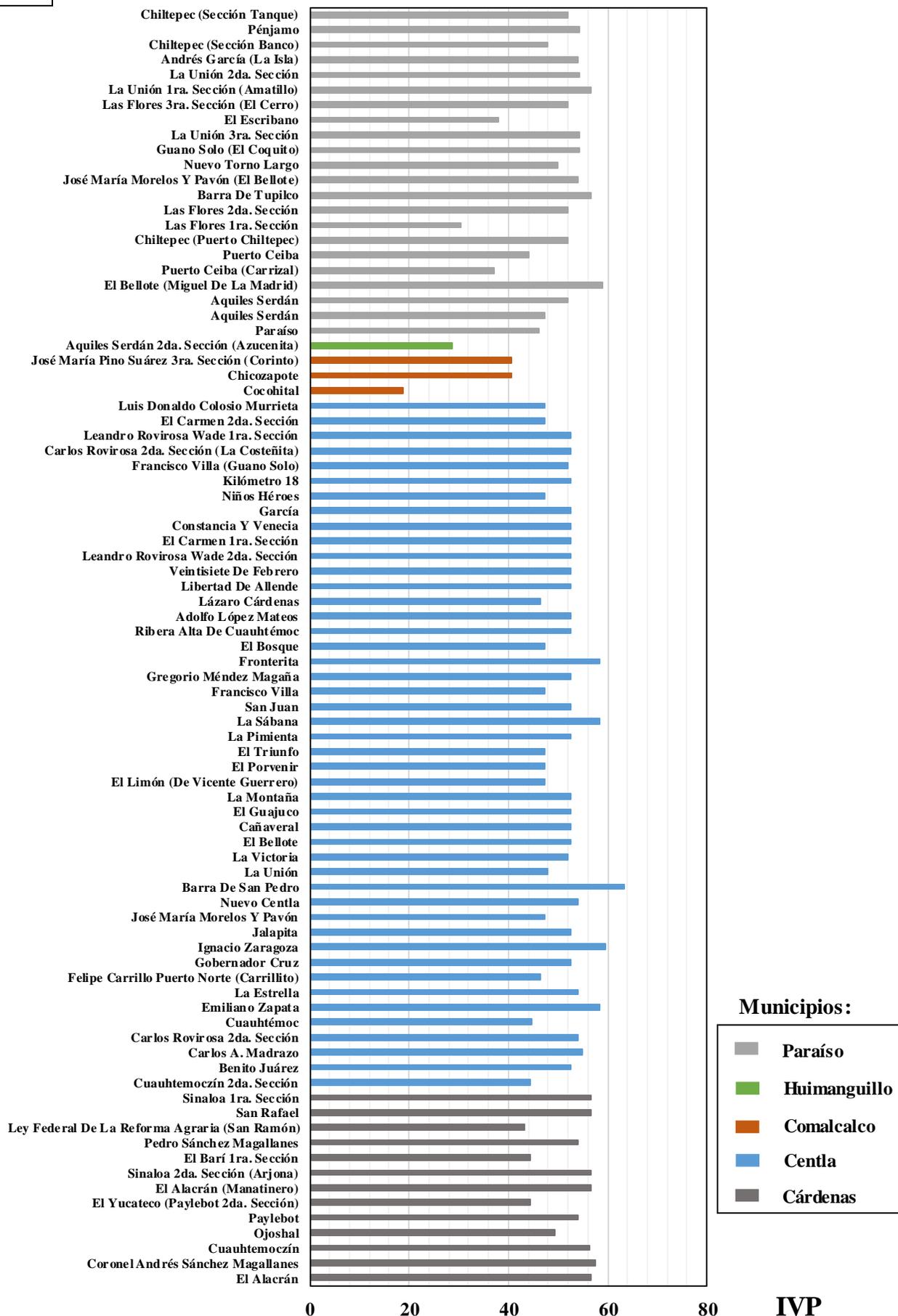


Tamaulipas

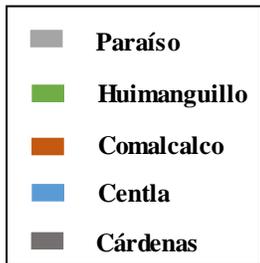


Tabasco

Localidades



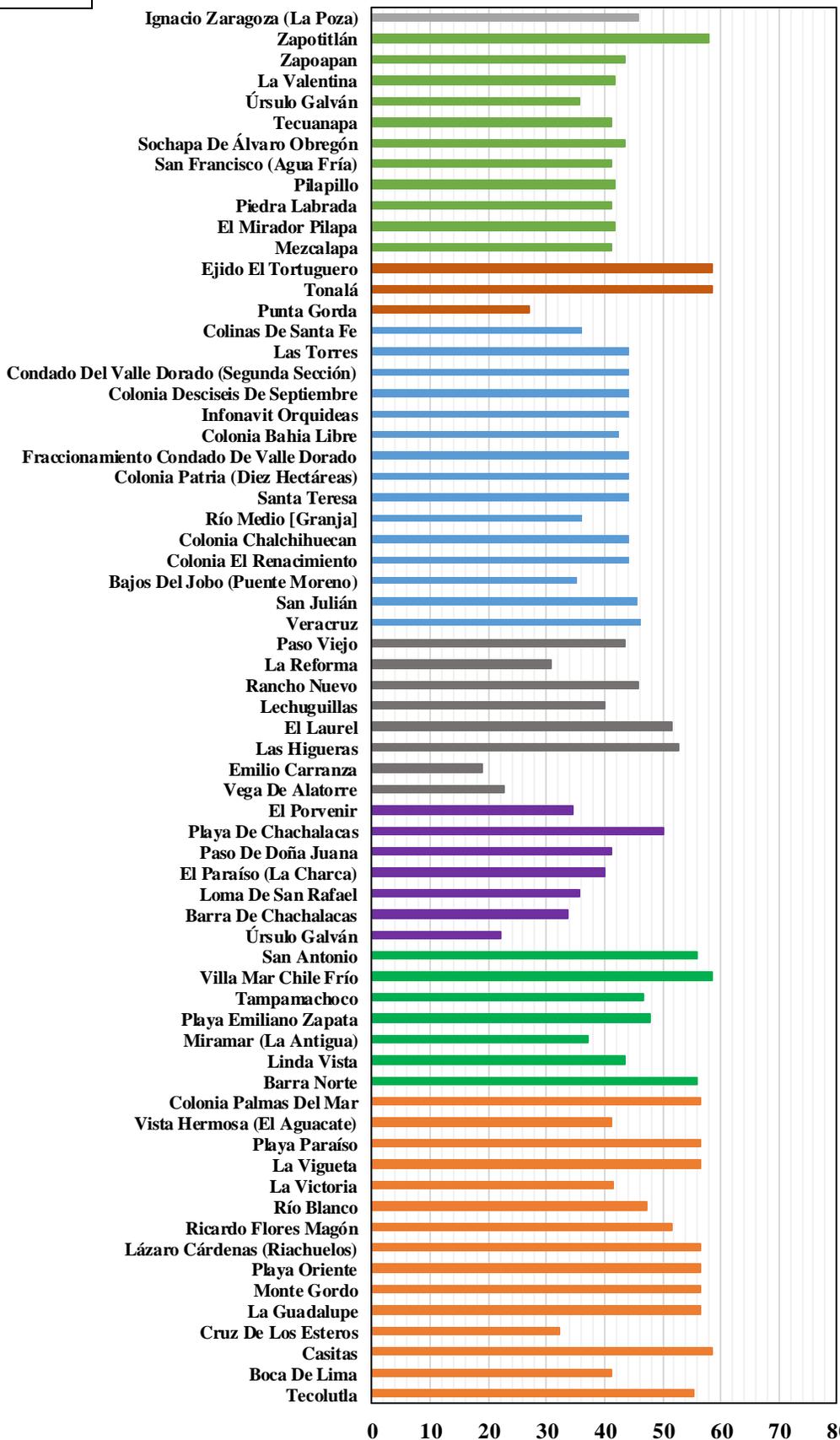
Municipios:



0 20 40 60 80 IVP

Veracruz

Localidades

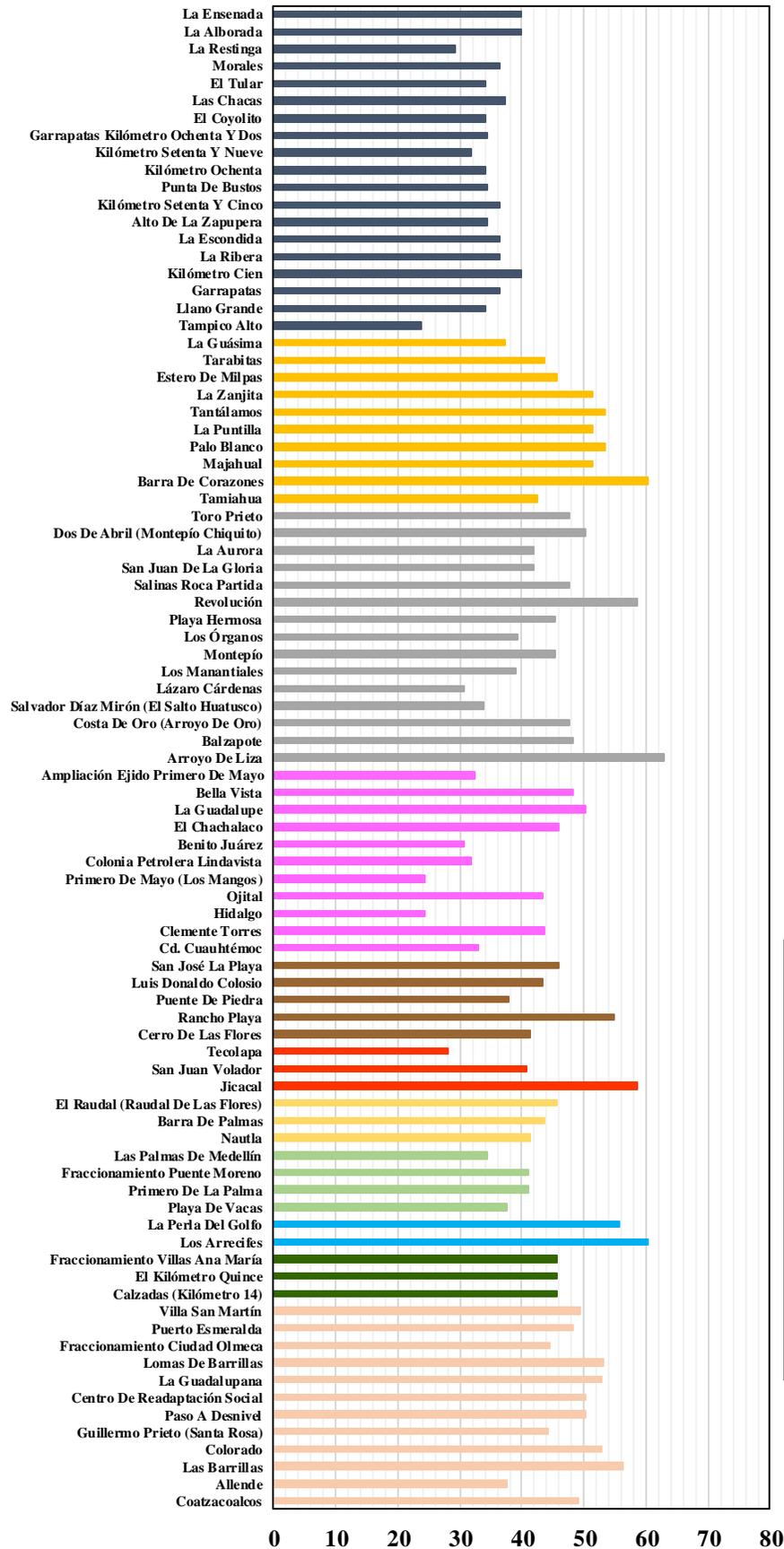


Municipios :



Veracruz

Localidades

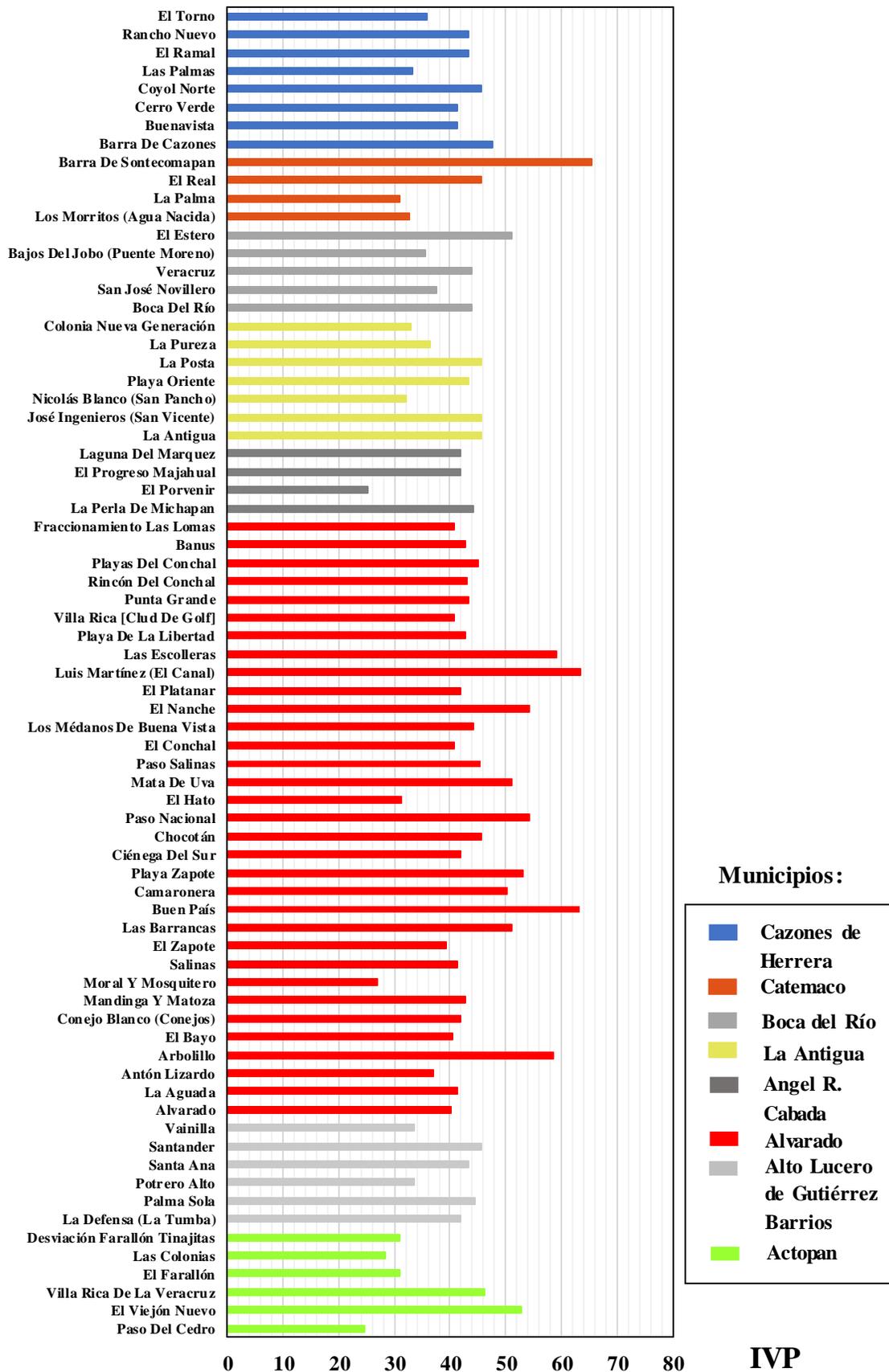


Municipios :

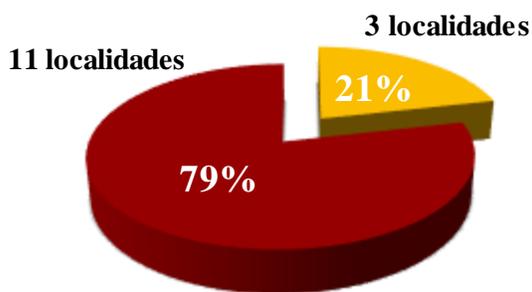


Veraacruz

Localidades

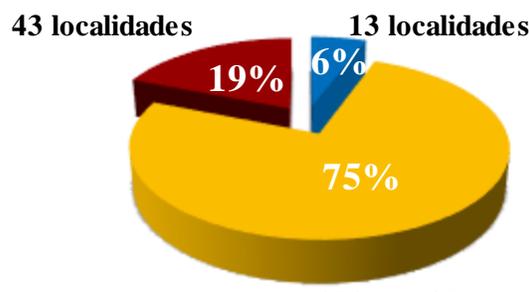


ANEXO 3



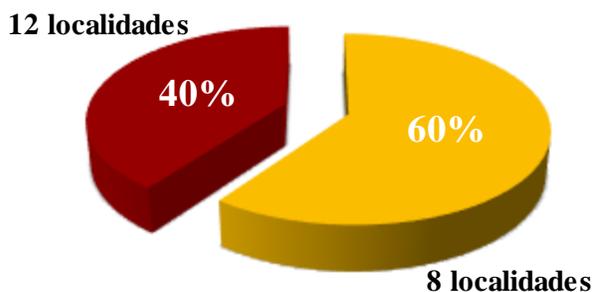
- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

Yucatán



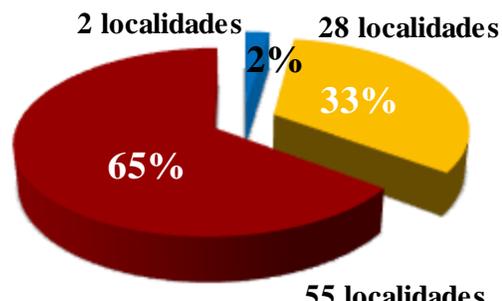
- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

Veracruz



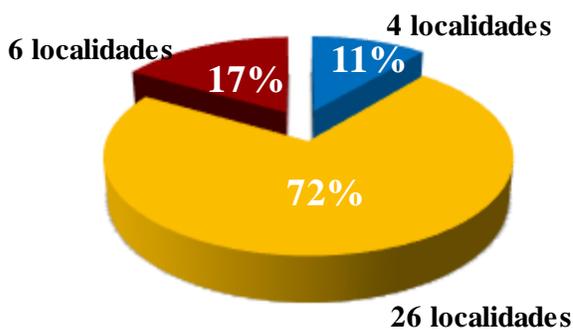
- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

Tamaulipas



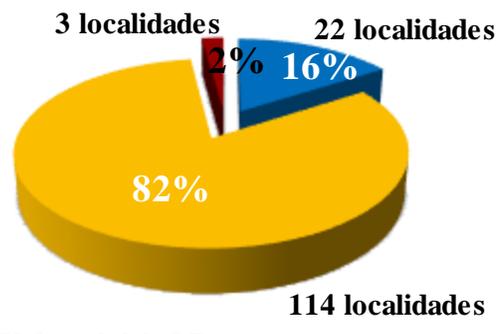
- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

Tabasco



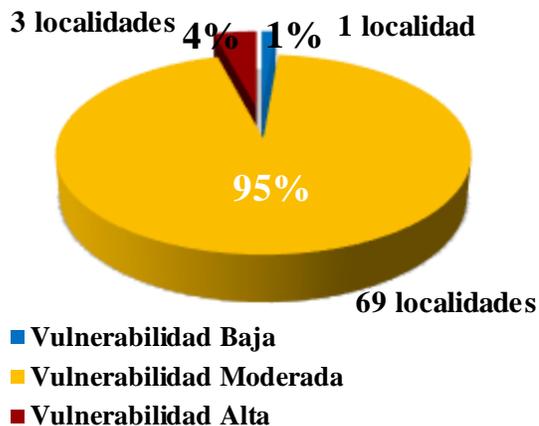
- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

Quintana Roo

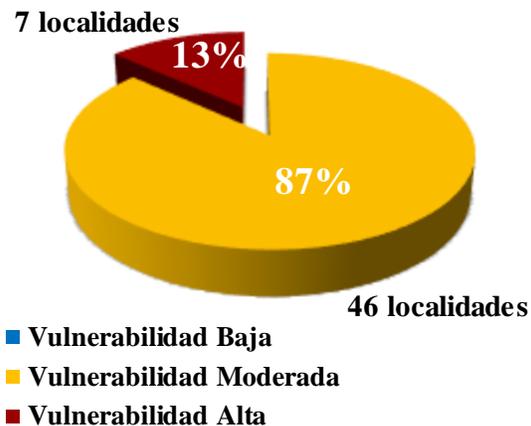


- Vulnerabilidad Baja
- Vulnerabilidad Moderada
- Vulnerabilidad Alta

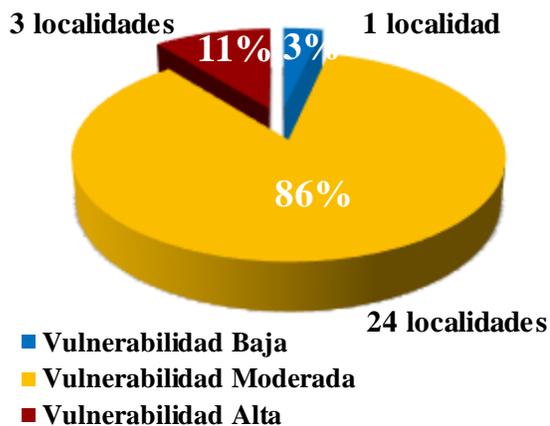
Oaxaca



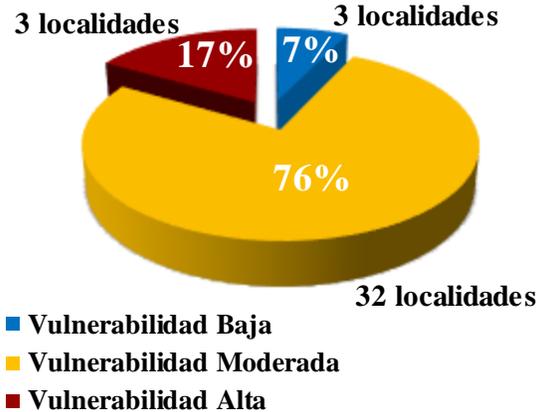
Baja California



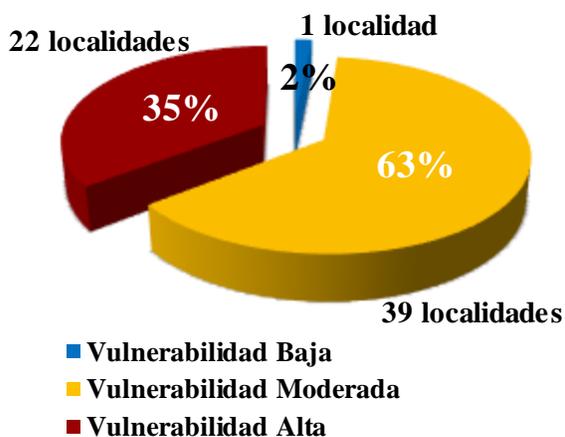
Baja California Sur



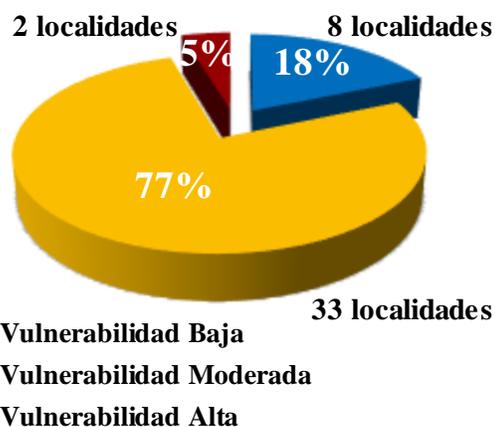
Sonora



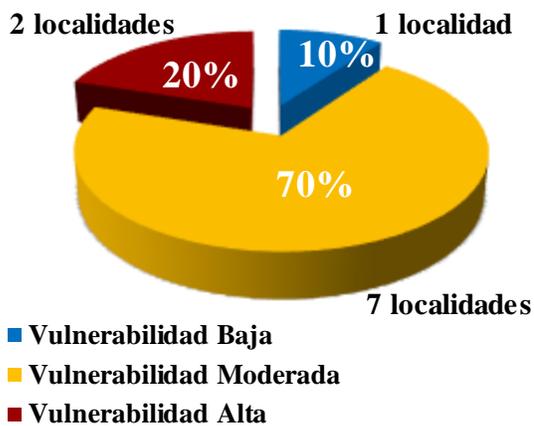
Sinaloa



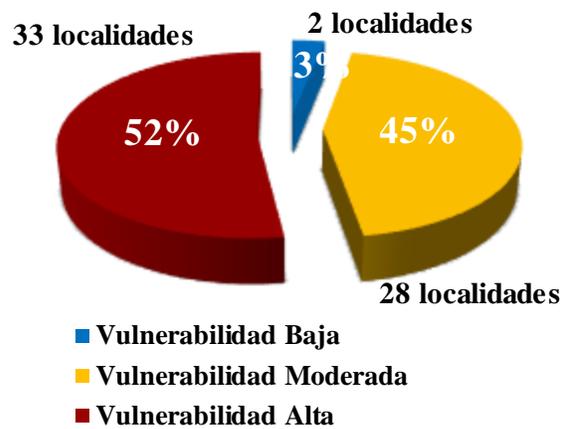
Nayarit



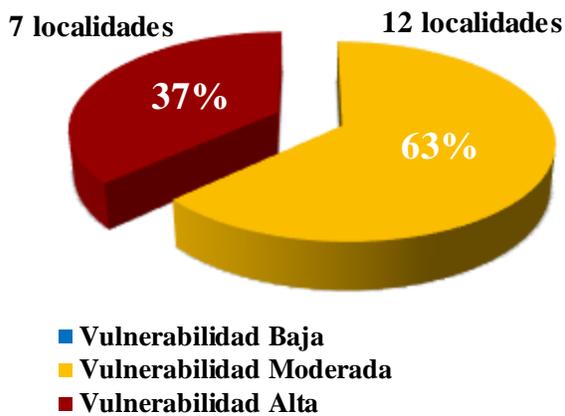
Jalisco



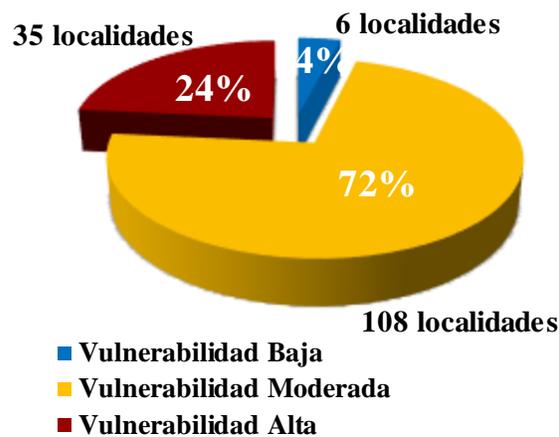
Nayarit



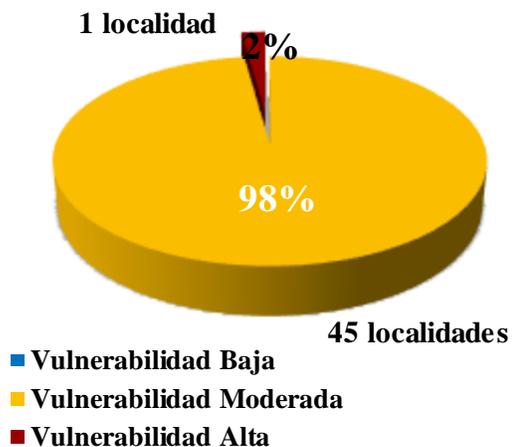
Chiapas



Campeche



Guerrero



Michoacán