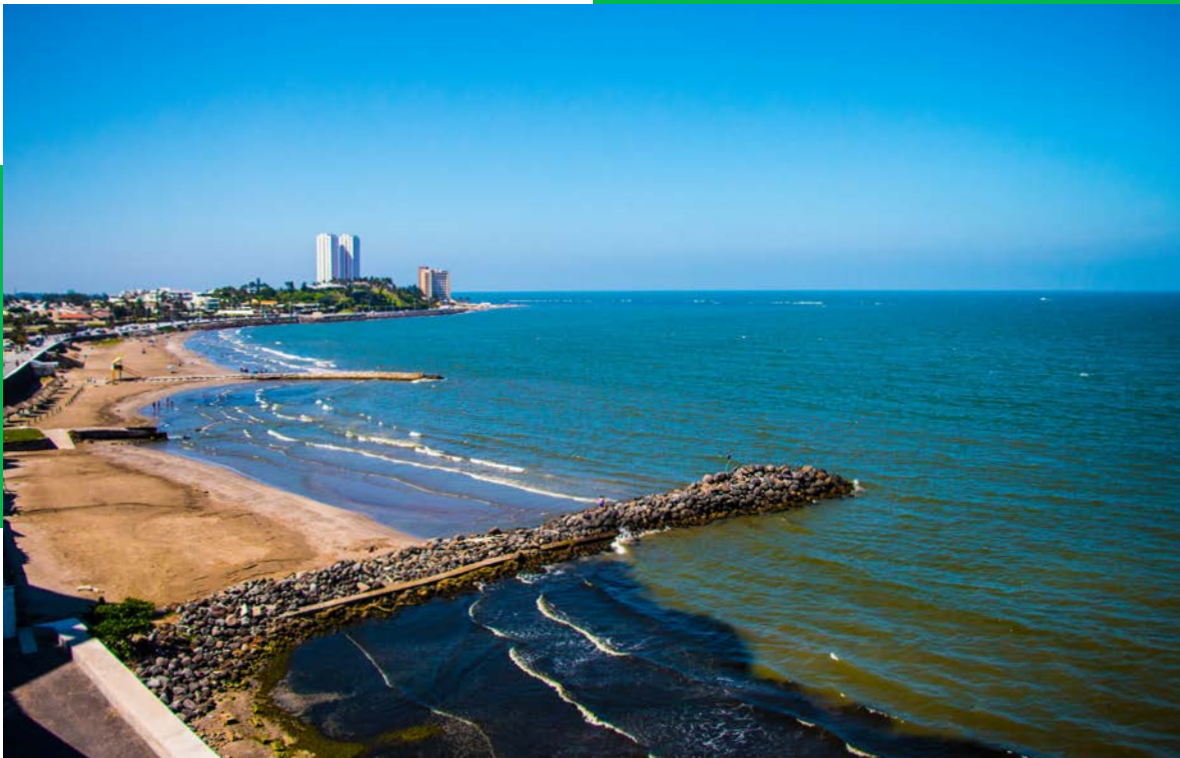


LA ZONA COSTERA DEL **ESTADO DE VERACRUZ**

CLIMA MARÍTIMO, MEDIO FÍSICO Y MEDIO BIÓTICO

Rodolfo Silva Casarín
Patricia Moreno-Casasola
Ma. Luisa Martínez
Edgar Mendoza Baldwin
Jorge López-Portillo
Debora Lithgow
Gabriela Vázquez
Rubí E. Martínez Martínez
Roberto Monroy Ibarra
Jorge Iván Cáceres Puig
Arturo Ramírez Hernández
Mariana Boy Tamborrell



LA ZONA COSTERA DEL
ESTADO DE VERACRUZ
CLIMA MARÍTIMO, MEDIO FÍSICO Y MEDIO BIÓTICO

Primera Edición 2018

D.R. © 2018 Instituto de Ecología, A.C.
Carretera antigua a Coatepec no. 351,
El Haya, Xalapa, Veracruz 91070, México
<http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/>

ISBN: 978-607-7579-78-6

Marzo, 2018

LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE VERACRUZ

CLIMA MARÍTIMO, MEDIO FÍSICO Y MEDIO BIÓTICO

ISBN: 978-607-7579-78-6

Rodolfo Silva Casarín
Patricia Moreno-Casasola
Ma. Luisa Martínez
Edgar Mendoza Baldwin
Jorge López-Portillo
Debora Lithgow
Gabriela Vázquez
Rubí E. Martínez Martínez
Roberto Monroy Ibarra
Jorge Iván Cáceres Puig
Arturo Ramírez Hernández
Mariana Boy Tamborrell

Publicación en línea:

<http://www.inecol.mx/inecol/libros>

Forma sugerida para citar este libro:

Silva, R., Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L.,
Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez,
G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R.,
Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., Boy-
Tamborell, M. 2018. *La zona costera del estado de
Veracruz, clima marítimo, medio físico y medio
biótico*. INECOL. 84pp.

El cuidado editorial de la obra *La zona costera
del estado de Veracruz, clima marítimo, medio
físico y medio biótico*. estuvo a cargo de la Unidad
de Promoción y Comunicación del Instituto de
Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de
México (IIUNAM), Ciudad Universitaria, C.P. 04510,
México, Ciudad de México.

Unidad de Promoción y Comunicación del IIUNAM.
Israel Chávez Reséndiz

Diseño:

Natalia Cristel Gómez Cabral
Oscar Daniel López Marín

Fotografía de portada:

Boca del Río, Veracruz, México.

Velaosmar, CC0 Creative Commons

I CONTENIDO

Pág. 9 CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL ESTADO DE VERACRUZ

Ubicación
Importancia socioeconómica
Clima
Hidrografía
Biodiversidad

Pág. 21 CAPÍTULO 2. LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE VERACRUZ

Caracterización física
 Características geomorfológicas
 Tipo de costa y evolución de la línea de costa
 Dunas costeras
Mareas
Viento y oleaje
 Costa norte (CNO) - del municipio de Pueblo Viejo al municipio Tampico el Alto
 Costa centro norte (CCN) - del municipio de Tamiahua al municipio Tecolutla
 Costa centro (CCE) - del municipio de San Rafael al municipio de La Antigua
 Costa centro sur (CCS) - del municipio de Veracruz al municipio Ángel R. Cabada
 Costa sur (CSU) - del municipio de San Andrés Tuxtla al municipio de Agua Dulce
Mareas de Tormenta y ascenso máximo del oleaje

Pág. 73 CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN BIÓTICA

Humedales
Manglares
Lagunas costeras, pastos marinos y estuarios
Vegetación de dunas costeras

Pág. 81 BIBLIOGRAFÍA

I Capítulo 1.

GENERALIDADES DEL ESTADO DE VERACRUZ

I UBICACIÓN

El estado de Veracruz se localiza en el este de la República Mexicana, al sur del Trópico de Cáncer. Se ubica entre los paralelos 17° 10' al 22° 15' de latitud norte y los meridianos 93° 35' al 98° 34' de longitud oeste. La forma del estado es alargada, alcanzando aproximadamente 790 km de largo y un ancho variable que en su parte más angosta mide 33 km y en la más ancha 183 km (Soto Esparza y Geissert, 2011). Hacia tierra adentro está flanqueado a todo lo largo por la Sierra Madre Oriental. Su superficie total es de 7,2410 km² (INEGI, 1988), que corresponde a 37% de la superficie nacional. La longitud aproximada de su litoral es de 745 kilómetros (INEGI, 2006), lo

que representa el 29.3% de la costa mexicana del Golfo de México y el 4.7% del total de la cuenca del Golfo de México.

El estado de Veracruz limita al norte con el estado de Tamaulipas, al sureste con el de Chiapas, al sur con el de Oaxaca, al este con el Golfo de México y el estado de Tabasco, y al oeste con los estados de Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (Figura 1).

I IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

La abundancia de recursos hídricos, la presencia de importantes yacimientos de hidrocarburos y su extenso litoral han permitido que Veracruz tenga un importante desarrollo de actividades productivas (Rodríguez-Herreó y Boege, 2011).

Gran parte de la población urbana se concentra en seis zonas metropolitanas: Veracruz, Xalapa, Poza Rica, Orizaba, Minatitlán y Coatzacoalcos (INEGI, 2010) y dos de éstas (Veracruz y Coatzacoalcos) cuentan con infraestructura portuaria de gran importancia para el comercio nacional e internacional. Los puertos de Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos procesan el 24% de toda la carga comercial portuaria (SCT, 2010).



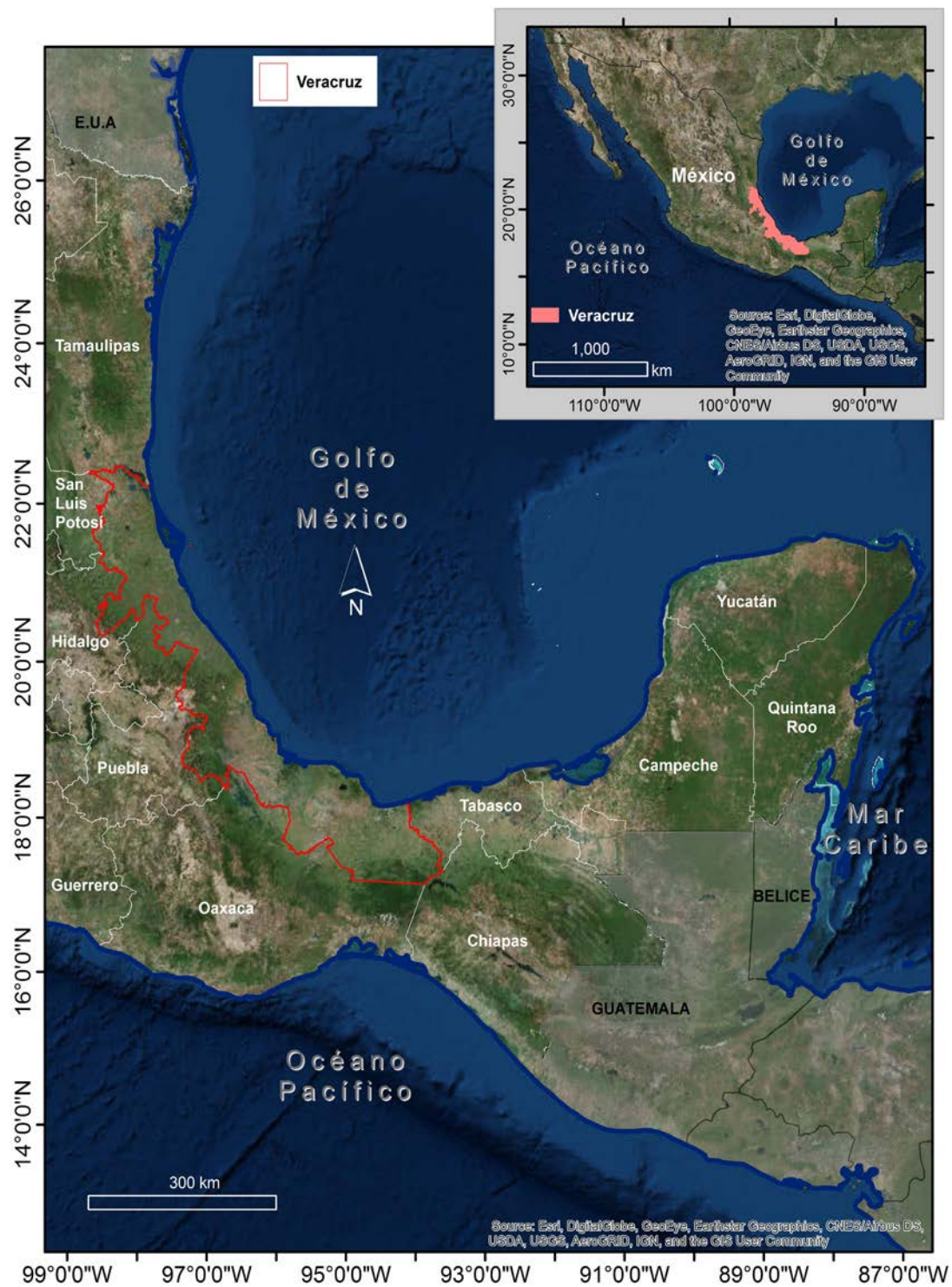


Figura 1. Localización geográfica de Veracruz.

La zona costera de Veracruz es de gran relevancia para el país y para el estado.

La quinta parte de las ciudades veracruzanas se encuentran ubicadas en la costa y el 27% de la población estatal (alrededor de dos millones de habitantes) vive a menos de 20 km de la costa (Mendoza-González *et al.*, 2012). Aunado a lo anterior, 11% de la generación de energía eléctrica a nivel nacional ocurre en las costas veracruzanas. Las principales generadoras de electricidad del estado son la central termoeléctrica de Tuxpan y la nucleoeléctrica de Laguna Verde (SENER, 2014).

Por último, la costa del estado de Veracruz es un destino turístico importante a nivel nacional e internacional (Propin-Frejomil y Sánchez Crispín, 2007; Martínez *et al.*, 2014b).

I CLIMA

La diversidad topográfica, los vientos y las perturbaciones atmosféricas que ocurren en el estado de Veracruz han originado una diversidad climática única.

En Veracruz se presentan todos los tipos climáticos que se pueden hallar en México, con excepción del clima muy árido (BW). Sin embargo, se considera que, en general, tiene un clima cálido-húmedo, según el sistema de clasificación climática de Köppen modificada por García (2004).

La mayor parte de la superficie estatal tiene temperaturas medias anuales que oscilan entre cálida y muy cálida (76% y 10%, respectivamente). Una superficie mucho menor tiene temperaturas intermedias como semicálida y templada (7%



San Juan de Ulua, Veracruz. Fotografía: Ric Loatos, licencia Creative Commons CC0.

y 6%, respectivamente). Las temperaturas bajas son las menos frecuentes, por ejemplo, las bajas como la semifr a, fría y muy fría que tienen una distribución muy restringida (2% entre todas).

En cuanto a la zona costera se refiere, la planicie norte tiene temperaturas medias y mínimas extremas menores a las temperaturas que se registran en la planicie sur. Dichas diferencias oscilan entre 1  C y 3  C, respectivamente (Soto Esparza y Giddings, 2011) (Figura 2).

Las tormentas tropicales y los huracanes tienen un impacto moderado en Veracruz (Figura 3), ya que en 50 años, seis tormentas tropicales y seis huracanes han tocado tierra directamente en las costas de este estado.

A pesar de lo anterior, dos de los diez huracanes más fuertes que han llegado a México en los últimos 50 años (Gilberto en 1988 y Dean en 2007) entraron por Veracruz, generando cuantiosos daños económicos.

Las tormentas tropicales son muy frecuentes y traen fuertes lluvias tanto en la planicie costera como en la sierra. Ello produce fuertes inundaciones en la costa, tanto por el desborde de los ríos como por elevación del nivel freático, con pérdidas socioeconómicas severas. Por esto, los ecosistemas de la costa son muy importantes en este estado ya que ofrecen el servicio de proteger a la gente y la infraestructura costera de los embates de estos eventos climáticos.

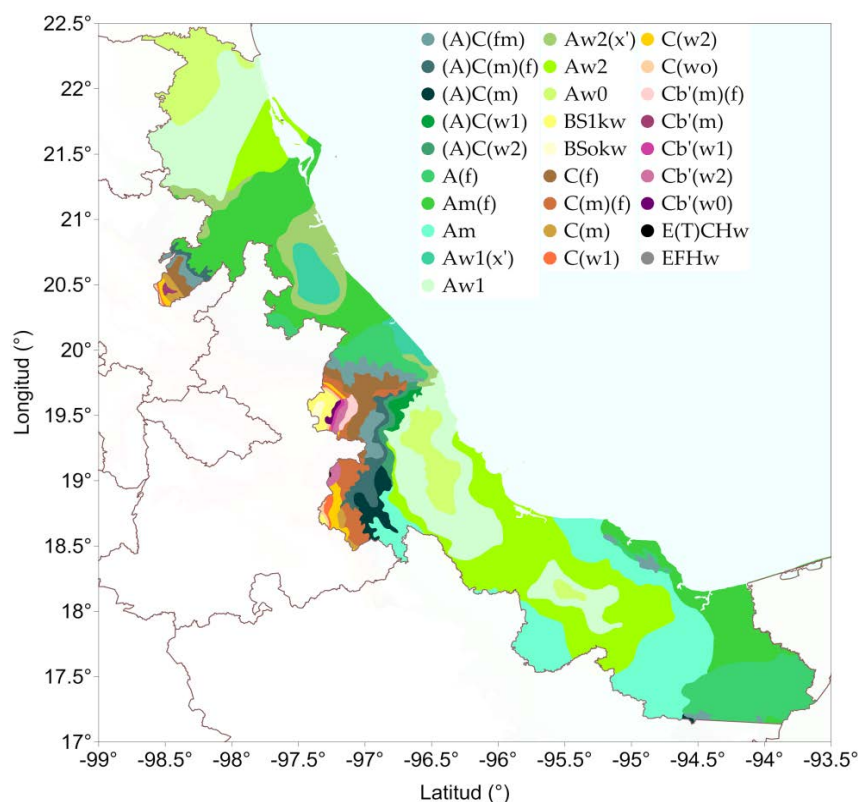


Figura 2. Mosaico climático del estado de Veracruz (Elaboración propia con datos de García, 1998).

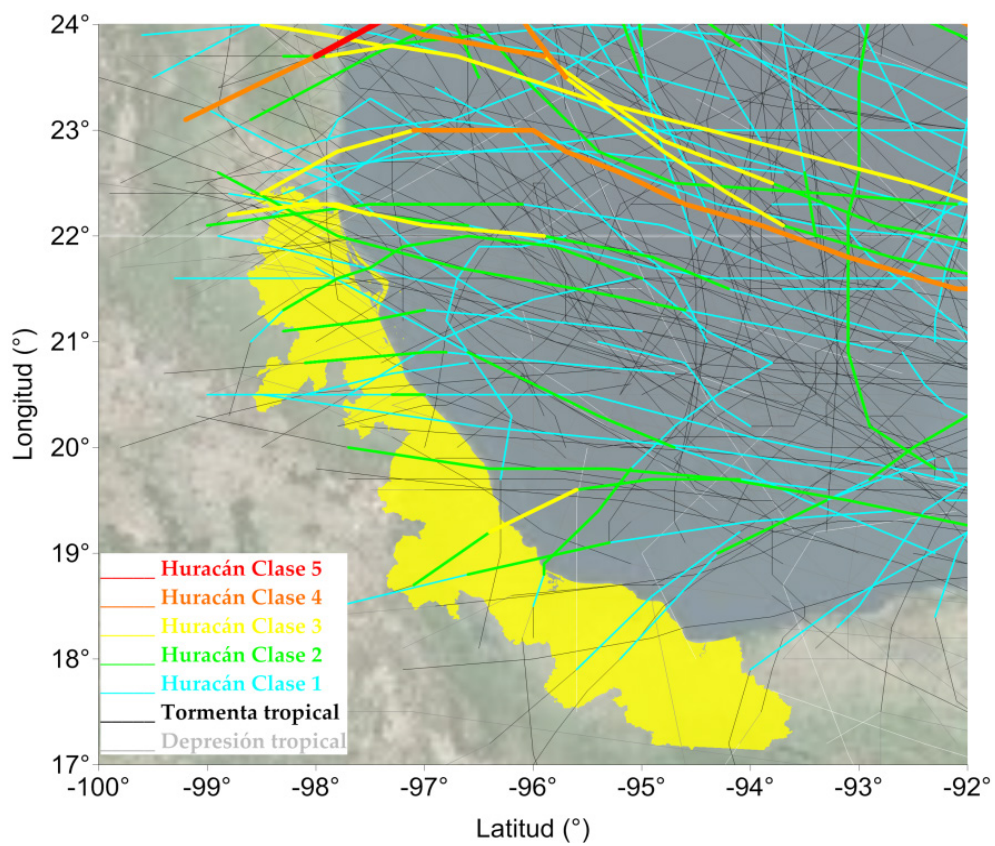
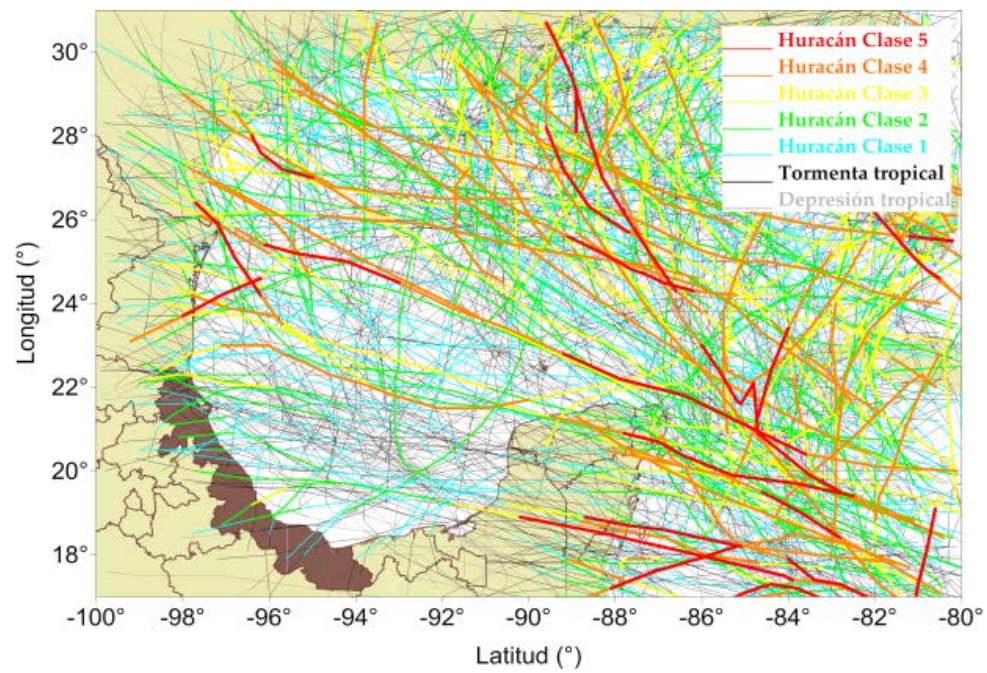


Figura 3. Trayectorias de ciclones tropicales que han afectado el estado de Veracruz (1900-2014). Elaboración propia con datos de la NOAA (www.nhc.noaa.gov).

I HIDROGRAFÍA

De acuerdo con datos publicados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las aguas superficiales del Estado de Veracruz están distribuidas en cinco regiones hidrológicas: RH-18 Balsas, RH-26 Pánuco, RH-27 Tuxpan-Nautla o Norte de Veracruz, RH-28 Papaloapan y RH-29 Coatzacoalcos.

El estado contiene parcial o totalmente 82 cuencas. Todas las cuencas son exorreicas con excepción de la cuenca del Río Salado en la región hidrológica número 28 (RH-28) Papaloapan.

Esta región del Papaloapan está integrada por 12 cuencas hidrológicas: Río Salado, Río Grande, Río Trinidad, Río Valle Nacional, Río Playa Vicente; Río Santo Domingo, Río Tonto, Río Blanco, Río San Juan, Río Tesechoacán, Río Papaloapan y Llanuras del Papaloapan.

El área de captación de lluvia mínimo es de 0.366 km² en la cuenca "Laguna de Boca Andrea", Región Hidrográfica del centro-norte de Veracruz. En contraste, el área máximo de captación es de 7,824 km² en la cuenca del "Río Panuco" en la Región Hidrográfica del río Pánuco, tal como se ilustra en la Figura 4 y el Cuadro 1.

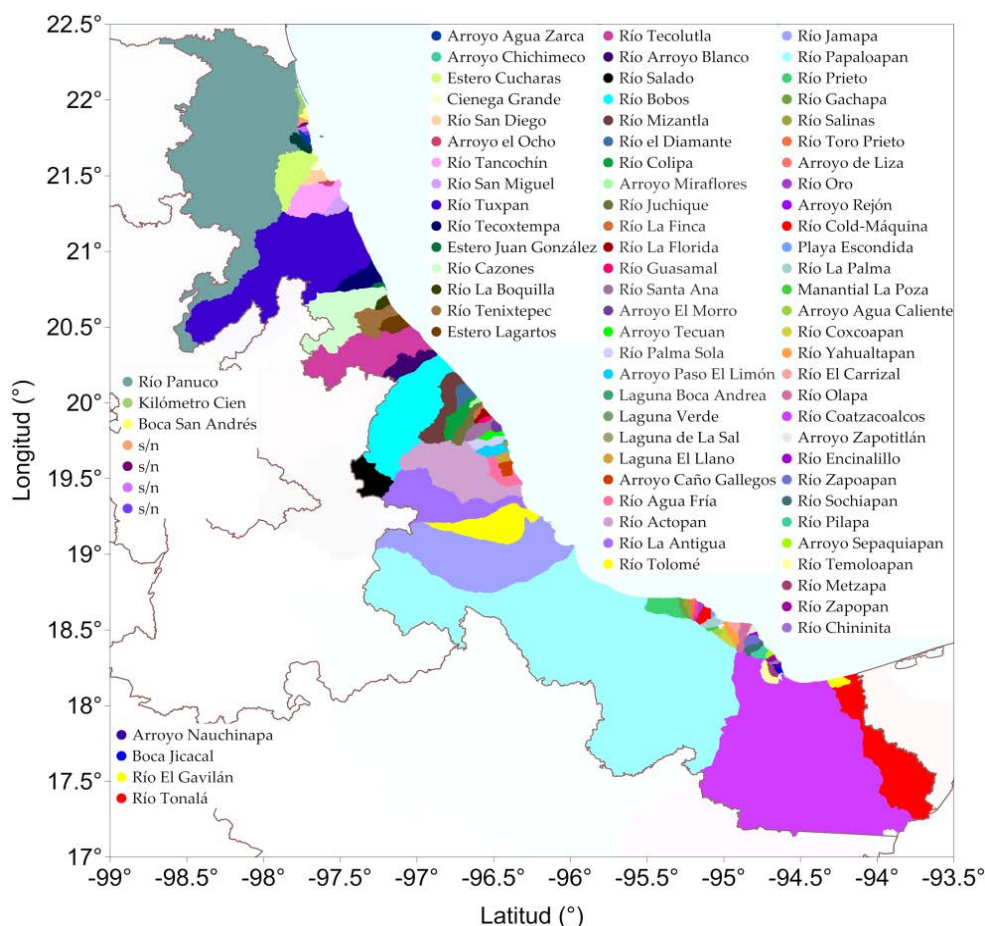


Figura 4. Cuencas hidrográficas en el estado de Veracruz.

Cuadro 1. Características generales de las cuencas hidrográficas en el estado de Veracruz. Elaboración propia con datos del INEGI (www.inegi.org.mx).

Región Hidrográfica	Estados	Topónimo	Altitud Máx. (m)	Altitud Mín. (m)	Área 1000 x km ²
Balsas	Pue, Tlax, Ver	Río Salado*	5610	2322	0.4087
Pánuco	Gto, Hgo, Mex, Mich, NL, Pue, Qro, SLP, Tam, Ver	Río Pánuco	3600	0	7.8238
Norte de Veracruz	Ver.	Arroyo Agua Zarca	81	0	0.0038
	Ver.	Arroyo Chichimeco	120	0	0.0102
	Ver.	Arroyo El Morro	647	0	0.0042
	Ver.	Arroyo El Ocho	112	0	0.0027
	Ver.	Arroyo Miraflores	319	0	0.0024
	Ver.	Arroyo Tecuan	904	0	0.0062
	Ver.	Boca San Andrés	69	0	0.0026
	Ver.	Ciénega Grande	151	0	0.0028
	Ver.	Estero Cucharas	1250	0	0.0635
	Ver.	Estero Juan González	31	0	0.0025
	Ver.	Estero Lagartos	225	0	0.0158
	Ver.	Kilómetro Cien	70	0	0.0053
	Ver.	Laguna Boca Andrea	500	1	0.0004
	Ver.	Laguna Verde	515	1	0.0006
	Pue, Ver.	Río Arroyo Blanco	875	0	0.0456
	Pue, Ver	Río Bobos	4200	0	0.2549
	Hgo, Pue, Ver.	Río Cazonos	2808	0	0.2465
	Ver.	Río Colipa	2203	0	0.0224
	Ver.	Río El Diamante	578	0	0.0130
	Ver.	Río Guasamal	764	0	0.0024
	Ver.	Río Juchique	2304	0	0.0175
	Ver.	Río La Boquilla	115	0	0.0062
	Ver.	Río La Finca	800	0	0.0027
	Ver.	Río La Florida	914	0	0.0045
	Ver.	Río Mizantla	2601	0	0.0511
	Ver.	Río Palma Sola	1300	0	0.0121
	Ver.	Río San Diego	119	0	0.0111
	Ver.	Río San Miguel	178	0	0.0120

Nota: *cuenca de tipo endorreico.

CONTINÚA >>

Región Hidrográfica	Estados	Topónimo	Altitud Máx. (m)	Altitud Mín. (m)	Área 1000 x km ²
	Ver.	Río Santa Ana	1800	0	0.0146
	Ver.	Río Tancochín	1250	0	0.0556
	Hgo, Pue, Ver.	Río Tecolutla	3500	0	0.6770
	Ver.	Río Tecoxtempa	210	0	0.0305
	Ver.	Río Tenixtepec	245	0	0.0338
	Ver.	Río Tuxpan (Pantepec)	2763	0	0.5880
	Ver.	s/n	75	0	0.0022
	Ver.	s/n	80	0	0.0013
	Ver.	s/n	85	0	0.0018
	Ver.	s/n	47	0	0.0009
Papaloapan	Ver.	Arroyo Agua Caliente	739	0	0.0024
	Ver.	Arroyo Cano Gallegos	700	0	0.0076
	Ver.	Arroyo de Liza	342	0	0.0005
	Ver.	Arroyo Paso El Limón	940	1	0.0117
	Ver.	Arroyo Rejón	1493	0	0.0026
	Ver.	Arroyo Zapotitlán	519	0	0.0022
	Ver.	Laguna de La Sal	449	0	0.0005
	Ver.	Laguna El Llano	425	0	0.0055
	Ver.	Manantial La Poza	1063	0	0.0016
	Ver.	Playa Escondida	361	0	0.0011
	Ver.	Río Actopan	3150	0	0.1730
	Ver.	Río Agua Fria (Pajaritos)	700	0	0.0193
	Ver.	Río Cold-Máquina	1422	0	0.0074
	Ver.	Río Coxcoapan	1042	0	0.0061
	Ver.	Río El Carrizal	812	0	0.0043
	Ver.	Río Encinalillo	555	0	0.0012
	Ver.	Río Gachapa	1193	0	0.0047
	Pue, Ver.	Río Jamapa	5600	0	0.3501
	Pue, Ver.	Río La Antigua	4200	0	0.1898
	Ver.	Río La Palma	1345	0	0.0069
	Ver.	Río Olapa	1456	0	0.0105
	Ver.	Río Oro	1607	0	0.0030
	Oax, Pue, Ver.	Río Papaloapan	5600	0	3.9340
	Ver.	Río Pilapa	1408	0	0.0061
	Ver.	Río Prieto	854	0	0.0253
	Ver.	Río Salinas	1463	0	0.0034

CONTINÚA >>

Región Hidrográfica	Estados	Topónimo	Altitud Máx. (m)	Altitud Mín. (m)	Área 1000 x km ²
Coatzacoalcos	Ver.	Río Sochiapan	1606	0	0.0064
	Ver.	Río Tolomé	1401	0	0.0920
	Ver.	Río Toro Prieto	1355	0	0.0026
	Ver.	Río Yohualtapan	912	0	0.0066
	Ver.	Río Zapoapan	1450	0	0.0057
	Ver.	Arroyo Nauchinapa	230	0	0.0015
	Ver.	Arroyo Sepaquiapan	1058	0	0.0018
	Ver.	Boca Jicacal	100	0	0.0016
	Ver.	Río Chininita	665	0	0.0016
	Ver.	Río Coatzacoalcos	2300	0	1.8128
Grijalva Usumacinta	Ver.	Río El Gavilán	51	0	0.0073
	Ver.	Río Metzapa	374	0	0.0038
	Ver.	Río Temoloapa	1126	0	0.0090
	Chis, Tab, Ver.	Río Tonalá	1033	0	0.4802
	Ver.	Río Zapopan	1143	0	0.0023
	Cam, Chis, Oax, Tab, Ver.	Grijalva-Usumacinta	3050	0	7.4284



Rafting en el río "Pescados, un río de clase IV unificado en Veracruz". Fotografía: CEMAC Veracruz, Creative Commons Attribution 1.0 Generic

I BIODIVERSIDAD

Las distintas características fisiográficas del estado han dado lugar a gradientes altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 5,610 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el Pico de Orizaba, generando una gran variación de climas y en consecuencia, de tipos de vegetación y diversidad de especies (Castillo-Campos *et al.*, 2011). De acuerdo con Rzedowski (1981), en el estado se encuentran los principales tipos de vegetación del país; contiene aproximadamente 18 tipos de vegetación primaria. En las zonas montañosas, por encima de los 2000 msnm se encuentran los bosques de coníferas y de encino; en las altitudes entre 800 y 1800 msnm crece el bosque mesófilo de montaña; la selva tropical caducifolia y

subcaducifolia es característica de zonas bajas entre los 200-800 msnm, y está representada por manchones en la región norte y centro del estado; la selva tropical perennifolia y subperennifolia se encuentra en zonas de baja altitud, sobre todo en la vertiente del Golfo de México.

Debido a la variedad de ecosistemas acuáticos y terrestres que se desarrollan en el estado de Veracruz, se puede afirmar que es una de las entidades más biodiversas del país, antecedida únicamente por Chiapas y Oaxaca. La mayoría de los ecosistemas naturales está a punto de desaparecer ya que han sido sustituidos por pastizales y vegetación secundaria. Se han registrado cerca de 7,855 especies vegetales; más de 400 de éstas se consideran amenazadas, 25% son endémicas al estado y se desarrollan en los bosques



Veracruz ocupa el tercer lugar en biodiversidad a nivel nacional, se han registrado más de 200 especies de reptiles.
Fotografía: Jorge López-Portillo

originales, por lo que son las más sensibles a la perturbación. Las familias más diversas son las compuestas (*Compositae*) con 809 especies, las leguminosas (*Leguminosae*) con 642, las gramíneas (*Poaceae*) con 527, las orquidáceas (*Orchidaceae*) con 359 y las euforbiáceas (*Euphorbiaceae*) con 301 especies (Castillo-Campos *et al.*, 2011).

La riqueza de especies vegetales varía de acuerdo con los tipos de vegetación (Cuadro 2). Los bosques son los que cuentan con un mayor número de especies vegetales, y son encabezados por el bosque tropical perennifolio y el bosque mesófilo de montaña. También es notable la riqueza de especies relativamente elevada que se localiza en ecosistemas costeros como los humedales, manglares y dunas costeras.

Además de la alta diversidad botánica del estado, en el trabajo enfocado en el análisis de la biodiversidad del estado (CONABIO, 2011) se señala su relevancia también para otros grupos. Por ejemplo, en cuanto a riqueza de especies de hongos Ascomycota, lombrices de tierra, arañas y chinches, Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional; en escarabajos de madera y chaquistes es el segundo; y es el tercer lugar en diversidad en lo referente a helechos, pastos, bambúes, bromelias, orquídeas, mariposas diurnas y escarabajos de mayo. La riqueza de los vertebrados en Veracruz también es de gran relevancia a nivel nacional. El 45% de los peces marinos costeros y de la plataforma continental que han sido registrados para el Golfo de México se encuentran en Veracruz. En el estado se encuentran el 27% de los anfibios de México; la mitad de las tortugas y la tercera parte de las serpientes y cocodrilos

Cuadro 2. Número aproximado de taxa o diferentes tipos de plantas por tipo de vegetación (tomado de Castillo-Campos *et al.*, 2011).

Tipo de vegetación	Riqueza de especies vegetales
Bosque tropical perennifolio	2230
Bosque mesófilo de montaña	2028
Bosque de encino	1727
Bosque tropical caducifolio	1754
Bosque tropical subcaducifolio	1221
Bosque de pino	1015
Matorral xerófilo	994
Bosque de pino-encino	883
Pastizal	474
Bosque de galería o vegetación riparia	469
Vegetación de dunas costeras	462
Sabana	259
Popal-tular	455
Manglar	191
Bosque de abeto (<i>Abies</i>)	151
Palmar	102
Vegetación de páramos de altura	41
Bosque de táscate (<i>Juniperus</i>)	10
Vegetación secundaria	621

están en el estado. Por último, pero no por ello menos importante, el 68% de las aves y el 40% de los mamíferos están en Veracruz.

La alta diversidad biológica del estado se contrasta con la intensa degradación ambiental a la que ha estado expuesto Veracruz, especialmente en las últimas décadas. Un porcentaje elevado está fragmentado o degradado de manera irreversible, por lo que las acciones de protección, conservación y restauración de la diversidad biológica de Veracruz son urgentes. |



Orquídeas y bromelias en humedal arbóreo. Fotografía: Jorge López-Portillo

I Capítulo 2.

LA ZONA COSTERA DEL ESTADO DE VERACRUZ

I CARACTERIZACIÓN FÍSICA

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Veracruz tiene una alta diversidad topográfica y climática asociada a su orografía y a la influencia del Golfo de México.

De acuerdo con Soto-Esparza y Geissert (2011), en el estado se encuentran representadas más de la mitad de todas las unidades geomorfológicas de tierra firme de México. Las principales unidades son: lomeríos modelados por procesos de disección fluvial del Cuaternario, planicies bajas formadas por procesos acumulativos del Cuaternario y las montañas producto de la disección fluvial del Plioceno-Cuaternario.

La regionalización geomorfológica comprende 37 unidades pertenecientes a 14 provincias.

Tres cuartas partes de la extensión territorial del estado pertenecen a dos planicies costeras situadas en los extremos norte y sur del estado (Soto Esparza y Geissert, 2011). Las planicies costeras están divididas por el Eje Neovolcánico que llega hasta la costa y que constituye una barrera muy importante (Figura 5).

El litoral del estado de Veracruz se divide en seis regiones definidas a partir de las características geomorfológicas de la costa (Ortíz-Pérez, 2006), las cuales se resumen en el Cuadro 3. En general, la topografía de las zonas del norte y centro-sur es relativamente sencilla con cordones de dunas de altura baja, paralelos a la línea de costa. En la mayoría de los casos están cubiertos por vegetación. Estos cordones de dunas se funden gradualmente con otro tipo de ecosistemas naturales como marismas, manglares, humedales herbáceos y arbóreos de agua dulce, selvas o pastizales. Las playas pueden ser anchas o angostas. En contraste, la zona centro y centro-sur contiene playas anchas y extensos sistemas de dunas costeras de gran altura y con diferentes grados de movilidad.



Dunas fijas con vegetación arbórea en el la costa central de Veracruz. Fotografía: Marisa Martínez.

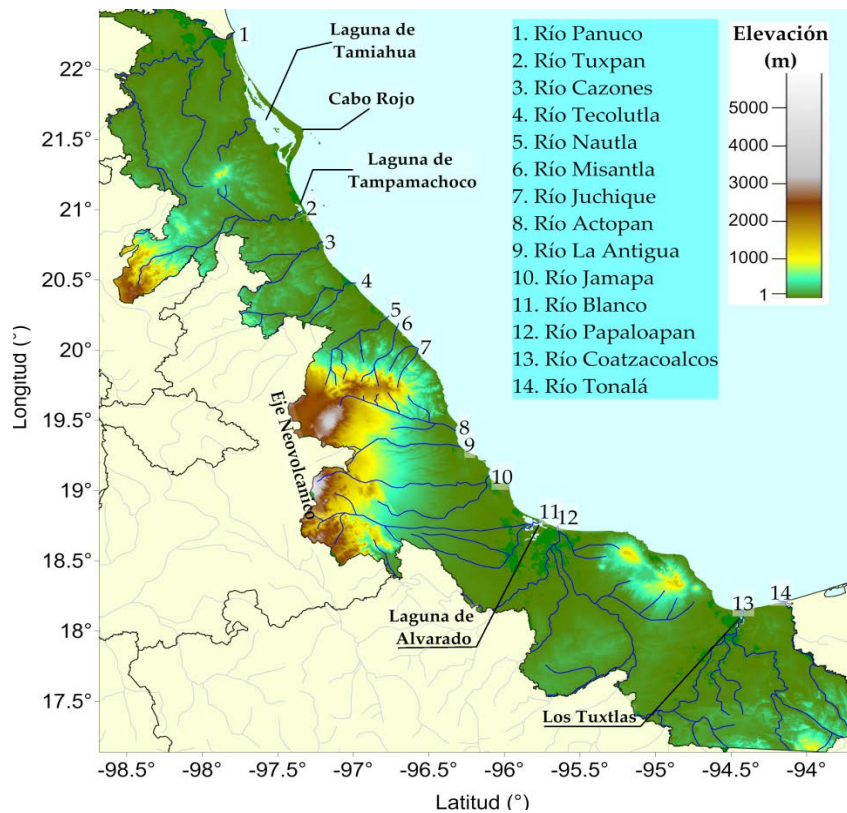
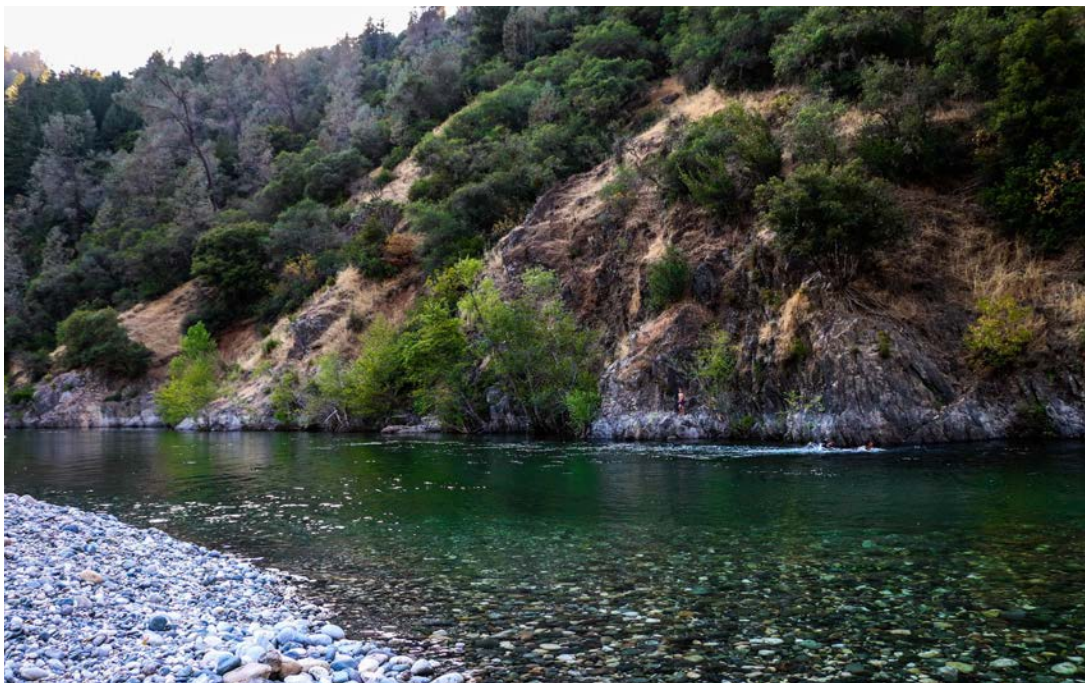


Figura 5. Principales ríos del estado de Veracruz.



Vegetación riverina en Veracruz. Fotografía: Osmar Vela, licencia: CC0 Creative Commons

Cuadro 3. Características geomorfológicas y biológicas de las costas veracruzanas (tomado de Ortiz-Pérez, 2006 y Moreno-Casasola *et al.*, 2011a).

Región geomorfológica costera	Características geomorfológicas	Características biológicas
Tamiahua	Planicie costera amplia y plataforma continental estrecha. Isla de barrera extensa llamada Cabo Rojo. Topografía relativamente sencilla, con playas bajas arenosas y exposición abierta al mar; las playas se interrumpen por las desembocaduras de los ríos. Los cordones de dunas tienen baja altura, y en la mayoría de los casos están cubiertos de vegetación.	Vegetación con influencia del norte del Golfo de México. Especies compartidas con Tamaulipas y Texas como <i>Uniola paniculata</i> .
Tuxpan-Nautla	Topografía similar a la de Tamiahua. Es una región con lagunas antiguas y azolvadas, donde se forman planicies de inundación y marismas.	Vegetación con influencia del norte del Golfo de México. Especies compartidas con Tamaulipas y Texas como <i>Uniola paniculata</i> , pero también otras compartidas con el centro y sur de Veracruz.
Nautla-Laguna Verde-La Mancha	Costa mixta con puntas rocosas volcánicas, y entre ellas amplias entrantes abiertas al mar con playas arenosas y campos de dunas activas. También existen lomeríos producto de la llegada del Eje Neovolcánico a la costa, a la altura del municipio de Actopan y de Alto Lucero.	Presencia de especies endémicas fijadoras de dunas como <i>Chamaecrista chamaecristoides</i> y <i>Palafoxia lindenii</i> . Selva baja y selva mediana con especies como <i>Citharexylum caudatum</i> , <i>Hyperbaena jalcomulcensis</i> , varias especies de <i>Ficus</i> y varias especies de <i>Bursera</i> .
Veracruzana	Planicie costera amplia con playas arenosas y amplios campos de dunas costeras parcialmente cubiertas por vegetación hacia tierra adentro. En la región de Alvarado es donde se localizan los sistemas de dunas costeras de mayor extensión y altura, llegando a alcanzar los 60 m de altura y cubriendo varios kilómetros tierra adentro y a lo largo de la costa.	Presencia de especies endémicas fijadoras de dunas como <i>Chamaecrista chamaecristoides</i> y <i>Palafoxia lindenii</i> . <i>Okenia hypogaea</i> únicamente se encuentra en el centro del estado. Selva baja y selva mediana con especies como <i>Citharexylum caudatum</i> , <i>Hyperbaena jalcomulcensis</i> , varias especies de <i>Ficus</i> y varias especies de <i>Bursera</i> .
Los Tuxtlas	Costas rocosas mezcladas con costas arenosas y presencia de dunas costeras.	Presencia de especies endémicas fijadoras de dunas como <i>Chamaecrista chamaecristoides</i> y <i>Palafoxia lindenii</i> . Selva mediana con especies como <i>Nectandra salicifolia</i> y <i>Diospyros veraecrucis</i> . Varias especies de <i>Ficus</i> así como varias especies de <i>Bursera</i> .
Papaloapan	Presencia de una barrera arenosa amplia y elevada que resguarda al sistema estuarino. Presencia de campos de dunas parabólicas de amplia extensión.	Presencia de especies endémicas fijadoras de dunas como <i>Chamaecrista chamaecristoides</i> y <i>Palafoxia lindenii</i> . Selva baja y selva mediana con especies como <i>Citharexylum caudatum</i> , varias especies de <i>Ficus</i> y varias especies de <i>Bursera</i> .

TIPOS DE COSTA Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

- Bajas arenosas. Son de tipo acumulativo donde domina la sedimentación con pendientes suaves.
- Mixtas. Son en lo general de tipo abrasivo-acumulativas en tramos que alternan con salientes rocosas en su mayoría de origen volcánico y playas arenosas (Figura 6).

La evolución de la línea de costa de Veracruz está condicionada esencialmente por los siguientes procesos naturales (Figura 7):

- Efectos de subducción generada por los desplazamientos de la placa de cocos y la norteamericana. La placa norteamericana se desliza lentamente

por debajo de la de cocos generando una lenta, pero constante disminución del nivel del terreno a lo largo de todo el estado de Veracruz.

- Alimentación de las playas debido a los aportes de arena que provienen principalmente de las descargas de los ríos y la producción de los arrecifes coralinos. El oleaje, a través de las corrientes que induce, es el principal responsable de la redistribución de la arena a lo largo de la costa. En algunos segmentos de la costa la estabilización de las dunas costeras por el asentamiento de poblaciones, la compactación en los terrenos con potreros, la infraestructura, entre otras, modifica la dinámica sedimentaria

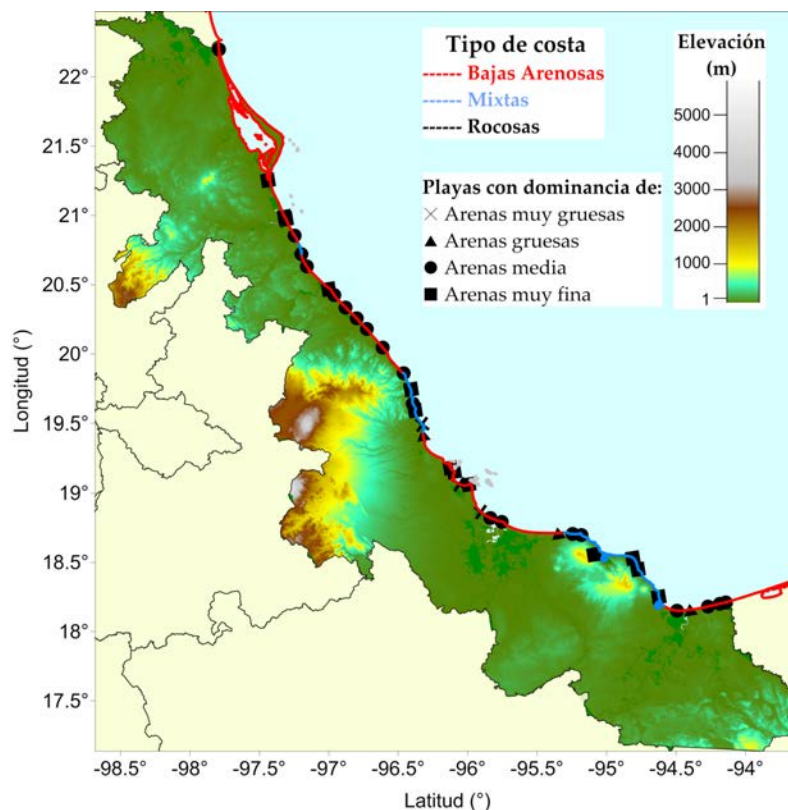


Figura 6. Tipo de litoral costero en el estado de Veracruz (Modificada de Silva *et al.*, 2014).

inducida por el viento generando distorsiones que se ven reflejadas por zonas con ganancia y pérdida de terreno.

- Pérdida de terreno seco de la zona costera asociado al aumento del nivel del mar (cambio climático y variabilidad climática).

- Diferentes acciones humanas han provocado que el proceso evolutivo natural de la costa de Veracruz experimente serias alteraciones. Esta gestión desordenada genera conflictos de manejo costero cada vez más agudos.

La modificación de la costa veracruzana se remonta al siglo XVII con la construcción de las primeras obras que dieron pie al actual Puerto de Veracruz y que continuaron de manera paulatina pero constante en el tiempo y en el espacio.

El resultado de la modificación de la costa ha sido una seria perturbación de la dinámica costera natural.

Hasta principios del siglo XX, el establecimiento de infraestructura de diversa índole (Ej. la construcción y ampliación de los puertos de Veracruz y de Tuxpan; la construcción de represamientos que retienen sedimentos, entre otras obras así como los cambios de uso de suelo) no representó un problema social. Esto se debió a que el uso de la costa y establecimiento de asentamientos humanos fue muy limitado. Sin embargo, lentamente a lo largo del tiempo, y sobre todo de manera más acelerada en las últimas décadas, la infraestructura en la zona costera se ha convertido en parte del paisaje del estado y han alterado la dinámica.



Figura 7. Geodinámica costera (Modificada de Silva *et al.*, 2014).

DUNAS COSTERAS

Las dunas costeras del estado de Veracruz suman un total de 106,092 ha y se presentan comúnmente en los tipos frontales, parabólicas y transgresivas.

Veracruz es el segundo estado del país con la mayor extensión de dunas costeras (Martínez *et al.*, 2014a). Así mismo, ocupa el primer lugar en cuanto a extensión de dunas parabólicas, el tercero en extensión de dunas transgresivas y el sexto en extensión de dunas frontales.

El porcentaje de superficie que cubren los tres tipos de dunas que predominan en el estado de Veracruz es similar: las dunas frontales cubren un 33% de la superficie, las parabólicas el 37% y las transgresivas el 30% (Cuadro 4). Entre las dos primeras predominan las estabilizadas, mientras que entre las transgresivas el 59% se encuentran estabilizadas por vegetación, el 2% están semimóviles y el 41% móviles.

En las costas de Veracruz también se encuentran dunas con formas únicas y originales, como la duna en forma de estrella y las dunas "gegenwall" ambas, ubicadas en la región central del estado (Hesp *et al.*, 2011).

Vale la pena mencionar que el sistema de dunas de Alvarado recorre 57 km a lo largo de la línea costera, desde las poblaciones de Arbolillo, municipio de Alvarado hasta Progreso Majahual en el municipio de Ángel R. Cabada. Comúnmente este sistema de dunas tiene un ancho de 2 km, sin embargo, frente a la población de Ángel R. Cabada la entrada de arena es de casi 10 km. La mayor altitud registrada en este sistema de dunas es de 130 msnm y se encuentra en el lado sur de la boca de la laguna de Alvarado donde desemboca el Río Papaloapan. Estas dunas constituyen una protección invaluable ante la elevación del nivel del mar y la intrusión salina para la región de las zonas bajas del Papaloapan.

Cuadro 4. Superficie (ha) que ocupa cada una de las categorías del estado de conservación de los distintos tipos de dunas del estado de Veracruz.

Tipo de duna	Movilidad	Estado de conservación					Total estatal
		Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	
Duna Frontal	Estabilizada		70	2,868	30,940	1,777	35,656
	Semi-móvil		41				41
	Móvil		30				30
	Total		141	2,868	30,940	1,777	35,727
Parabólica	Estabilizada	473		7,262	30,925	524	39,184
	Semi-móvil		63				63
	Total	473	63	7,262	30,925	524	39,246
Transgresivas	Estabilizada		541	757	2,690	14,556	18,544
	Semi-móvil	24	95				119
	Móvil	3,189	602		9,164		12,955
	Total	3,213	1,238	757	11,854	14,556	31,619
Total estatal		3,686	1,442	10,888	73,719	16,857	106,592

Las dunas parabólicas de la región central del estado son de las más grandes de todo el país y las transgresivas son las segundas más grandes, superadas solamente por las de Sonora y las de Baja California Sur.

Las dunas frontales se ubican en varios municipios, como son Agua Dulce, Alto Lucero, Alvarado, Catemaco, Cazonas, Nautla, Ozuluama, Tamiahua, Tecolutla, Tuxpan, Úrsulo Galván, Vega de Alatorre y Veracruz. Las dunas parabólicas están localizadas en los municipios de Actopan, Alvarado, Ángel R. Cabada, La Antigua, Lerdo de Tejada, Pueblo viejo, San Andrés Tuxtla, Tamiahua, Tampico Alto y Úrsulo Galván. Por último, las dunas transgresivas ocurren en los municipios de Actopan, Agua Dulce, Alto Lucero, Alvarado, Ángel

R. Cabada, Boca del Río, Catemaco, Coatzacoalcos, La Antigua, Mecayapan, Pajapan, Tampico Alto, Úrsulo Galván, Vega de Alatorre y Veracruz. La mayoría de las dunas frontales y las dunas parabólicas de Veracruz del Llave se encuentran total o parcialmente cubiertas por vegetación.

Entre esta vegetación podemos encontrar desde pastizales hasta selvas medianas. La cubierta de vegetación las convierte en dunas estabilizadas o semimóviles.

En contraste, cerca de la mitad de las dunas transgresivas de este estado tienen escasa o nula vegetación y son altamente móviles. Estas dunas se localizan principalmente en la región central de Veracruz y deben mantenerse con esa movilidad para su buen funcionamiento.



Dunas estabilizadas por vegetación de selva en el centro de Veracruz. Fotografía: Marisa Martínez

I MAREAS

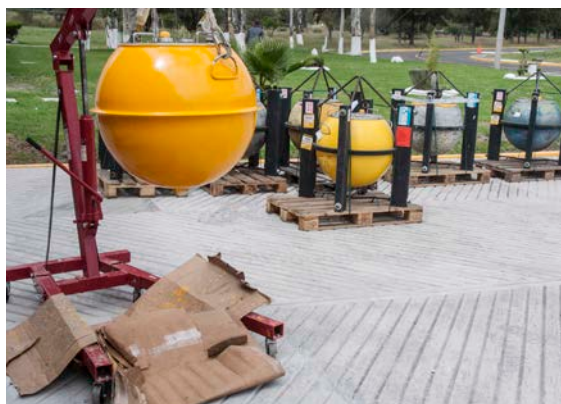
De acuerdo con la Secretaría de Marina (SEMAR), en el litoral del estado de Veracruz el tipo de marea que predomina es diurno o mixto, la amplitud máxima de marea registrada fluctúa entre 1.04 y 1.28 m, debida principalmente a efectos astronómicos.

En el Cuadro 5 se presentan los diferentes niveles de referencia en algunas de las estaciones disponibles a lo largo del estado de Veracruz, los valores presentados corresponden a mediciones de 1999 a 2013.

Las estaciones en Veracruz están ubicadas en Tuxpan (20° 57' 12" N; 97° 20' 48" W), Veracruz (19° 12' 03" N), Antón Lizardo (19° 03' 55" N; 95° 58' 56" W) y Coatzacoalcos (18° 07' 32" N; 94° 25' 09" W). Los tipos de marea registrados son: Mixta diurna en Tuxpan, diurna en Veracruz, también diurna en Antón Lizardo diurna y mixta diurna en Coatzacoalcos. A pesar de que tienen pocas variaciones, la pleamar máxima registrada ha sido en Coatzacoalcos (1.280m) y la mínima en Veracruz (1.040m). De igual manera, la bajar mínima registrada fue en Coatzacoalcos (-0.56m).



Boya de la Red nacional de estaciones oceanográficas y meteorológicas instalada. Fotografía: Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.gob.mx>



Boyas de la Red nacional de estaciones oceanográficas y meteorológicas. Fotografía: Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.gob.mx>

Cuadro 5. Niveles mareográficos (m) y tipos de marea para cuatro regiones de la costa de Veracruz.

Planos de Mareas Referidos al Nivel de Bajamar Media Inferior	Tuxpan 20° 57' 12" N 97° 20' 48" W	Veracruz 19° 12' 03" N 96° 07' 51" W	Antón Lizardo 19° 03' 55" N 95° 58' 56" W	Coatzacoalcos 18° 07' 32" N 94° 25' 09" W
Tipo de Marea	Mixta diurna	Diurna	Diurna	Mixta diurna
Pleamar Máxima Registrada	1.100	1.040	1.070	1.280
Nivel de Pleamar Media Superior	0.458	0.475	0.450	0.398
Nivel de Pleamar Media	0.427	0.441	0.418	0.375
Nivel Medio del Mar	0.276	0.289	0.266	0.244
Nivel de Bajamar Media	0.123	0.136	0.114	0.119
Nivel de Bajamar Media Inferior	0.000	0.000	0.000	0.000
Bajamar Mínima Registrada	-0.500	-0.470	-0.480	-0.560

I VIENTO Y OLEAJE

A lo largo del año, el Golfo de México recibe el efecto de dos sistemas meteorológicos: los Nortes (sistemas anticiclónicos de mediana latitud) y los Ciclones Tropicales (depresiones y tormentas tropicales y huracanes que en su mayoría provienen del Caribe). Los Nortes se presentan de septiembre a abril y sus efectos suelen durar desde un día hasta dos semanas.

Para la determinación del régimen de oleaje y viento se implementó el modelo híbrido de generación de oleaje presentado por Ruiz *et al.* (2009), del cual se obtuvieron datos para el periodo 1948-2010. Este modelo híbrido consiste en el acoplamiento de los modelos WAM (WAMDI, 1988; Günther *et al.*, 1992) y el HURAC (Sánchez *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 2000 y Silva *et al.*, 2002).

La aplicación del modelo híbrido se realizó en el Golfo de México y se utilizó una malla que abarca de 8° N a 32° N en latitud y de 60° W a 100° W en longitud con una discretización espacial de 0.25° x 0.25°. Las condiciones generales para el forzamiento del modelo WAM fueron: una batimetría con dos minutos de resolución que se obtuvo de la base de datos del National Geophysical Data Center (www.ngdc.noaa.gov) y los campos de viento de la base de datos del programa de reanálisis de NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). Por su parte, para el forzado del modelo HURAC se obtuvo la siguiente información de boletines meteorológicos (www.noaa.gov): fecha del aviso, presión central, ubicación geográfica del centro del ciclón, radio de máximos vientos (radio ciclostrofico), dirección y velocidad de desplazamiento del meteoro.

Con estos datos se evaluaron los campos de presión atmosférica, vientos medios y oleaje asociados a los huracanes que se presentaron en el tiempo analizado. El procedimiento para el acoplamiento de los modelos se detalla en (Ruiz *et al.*, 2009).

De la base de datos analizada se pudo observar que en la zona de influencia del estado de Veracruz, durante los Nortes, el viento puede alcanzar velocidades de 100 km/h. Por otro lado, la temporada de Ciclones Tropicales va de junio a noviembre y tiene un pico de actividad que abarca desde la mitad de agosto hasta finales de octubre. Durante esta temporada de ciclones, los vientos pueden alcanzar hasta 180 km/h en la zona de influencia.

Para caracterizar el comportamiento de los vientos medios reinantes se realizó un promedio energético ponderado considerando, por un lado, todos los datos (anual) y por otro los datos de cada trimestres por separado.

El análisis del promedio anual de los 61 años de datos de viento y su variabilidad en la costa veracruzana muestra que el viento proviene del noreste en donde la componente este domina y la componente norte va cobrando importancia conforme se avanza hacia el sur del estado. Además, se observa que la intensidad del viento es mayor en el norte y va disminuyendo hacia el sur, especialmente en la zona de Los Tuxtlas (Figura 8).

Las principales variaciones anuales se pueden caracterizar de la siguiente manera. En el norte del estado, en la Laguna de Tamiahua, los vientos vienen del sector este (82°) pero en la parte sur de dicha laguna cambian 10° hacia el Norte colocándose en el sector Este Noreste (ENE) a 72°.

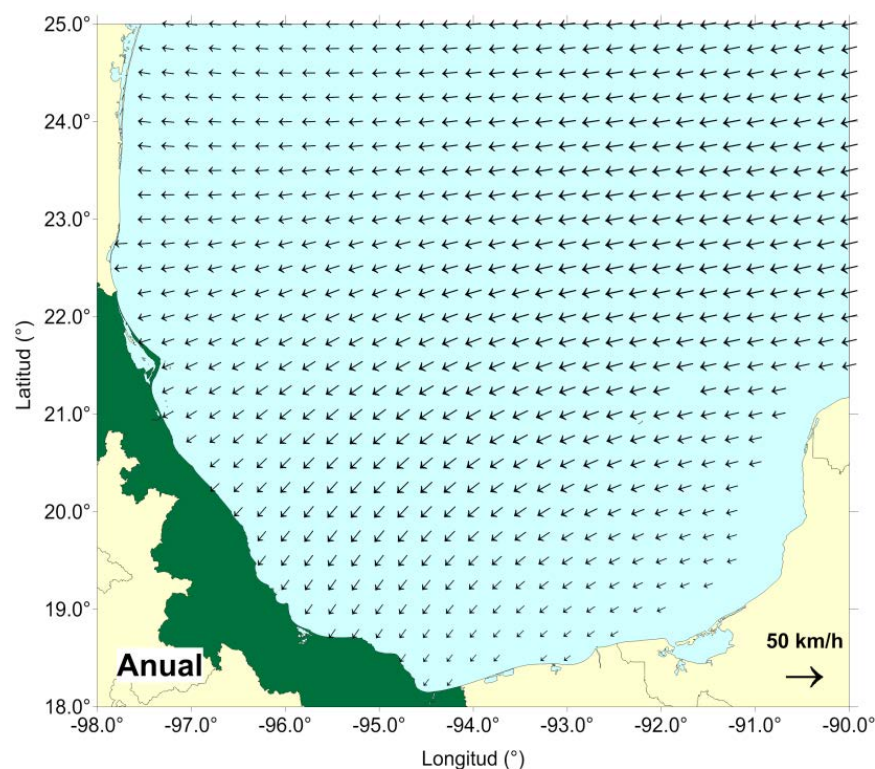


Figura 8. Viento cuadrático medio. Dirección e intensidad del viento anual (Elaboración propia).

Esta tendencia, en la que la componente norte va cobrando importancia, se presenta en el resto de la costa veracruzana. De esta manera, el viento tiene una dirección promedio de 57° en los municipios del norte del estado (Tuxpan, Cazones, Papantla y Tecolutla), 47° en los del centro-norte (Nautla, Vega de Alatorre y Alto Lucero), 42° en los del centro (Actopan, Úrsulo Galván, La Antigua y Veracruz) y de 36° a 40° en la parte sur.

Las variaciones estacionales de los vientos que inciden en la costa veracruzana se muestran por trimestres. En el primer trimestre del año, dentro de la época de Nortes, los vientos tienen una fuerte componente Norte a Sur y un comportamiento similar al promedio anual (Figura 9).

En el segundo trimestre del año, la disminución de los Nortes y el principio, en

el mes de junio, de la temporada de ciclones ocasionan cambios en la dirección e intensidad de los vientos (Figura 10). Por ejemplo, los vientos que inciden en el norte de la Laguna de Tamiahua cambian de ENE (noviembre a marzo) a ESE (abril a junio).

Desde el sur de la Laguna de Tamiahua hasta Tecolutla (región norte y centro-norte), los vientos provienen del Este. A diferencia del primer trimestre, los vientos son casi perpendiculares a la costa (entre 90° y 77°) en esta época y tienen menor intensidad.

En la región central (Nautla, Vega de Alatorre y Alto Lucero), los vientos vienen a 65° cambiando de ENE (noviembre a marzo) a NE (abril a junio). Esta misma dirección se mantiene desde Alto Lucero hasta Coatzacoalcos aunque con menor intensidad.

En el tercer trimestre del año el viento tiene tendencias similares a las del segundo trimestre (Figura 11). Las diferencias que se aprecian son la disminución de la intensidad del viento, característica de la época de primavera, así como ligeras variaciones en la dirección del viento en las regiones norte y centro-norte del estado. En ambos

casos, la componente norte empieza a cobrar importancia y la dirección cambia de E a ENE. Durante el cuarto trimestre, la temporada de Ciclones Tropicales termina y los vientos provenientes del Norte empiezan a tener mayor influencia por lo que la dirección cambia de NE a NNE (Figura 12).

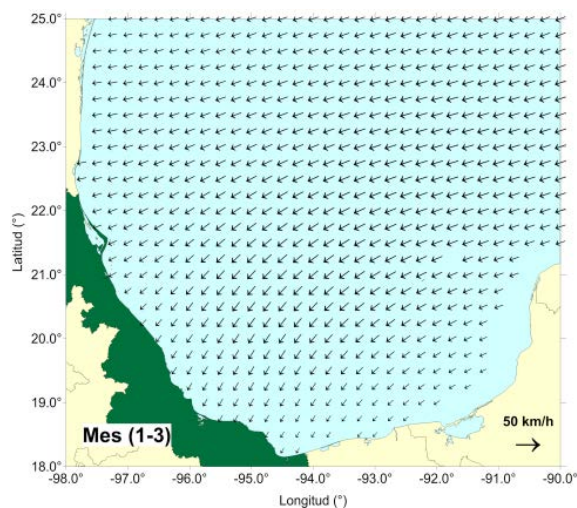


Figura 9. Dirección e intensidad del viento durante el primer trimestre del año en la costa veracruzana.

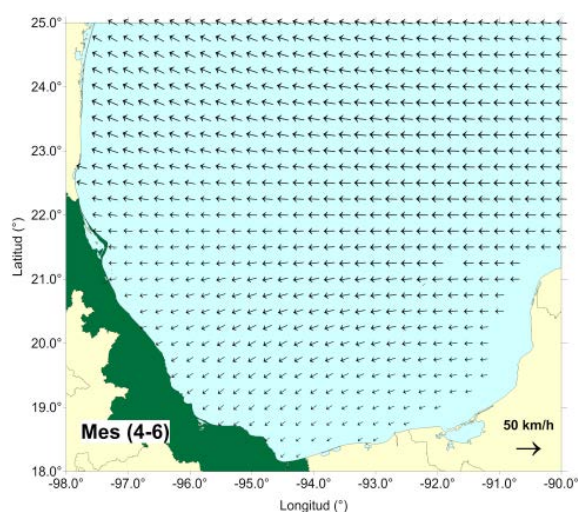


Figura 10. Dirección e intensidad del viento durante el segundo trimestre del año en la costa veracruzana.

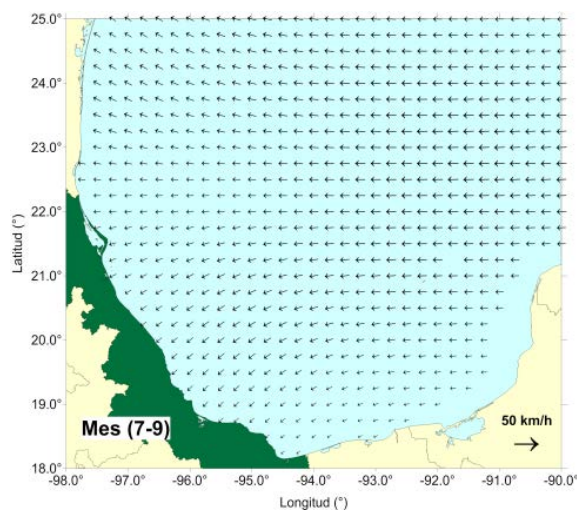


Figura 11. Dirección e intensidad del viento durante el tercer trimestre del año en la costa veracruzana.

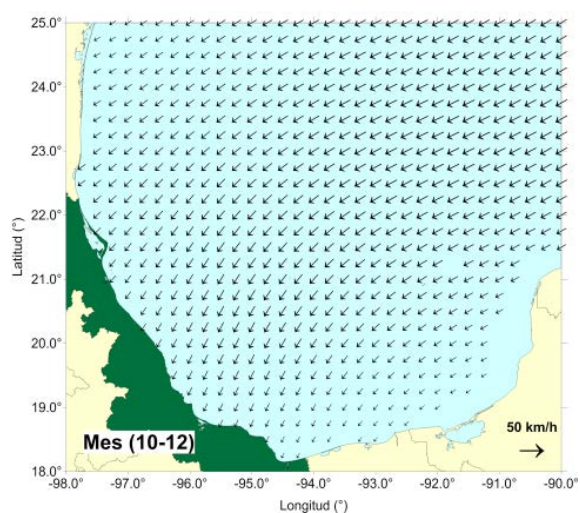


Figura 12. Dirección e intensidad del viento durante el cuarto trimestre del año en la costa veracruzana.

Por lo que respecta al oleaje medio anual (Figura 13), el análisis del comportamiento muestra que el oleaje proviene del noreste (NE). Además, se observó que las olas más comunes durante el periodo analizado tienen alturas del orden de 1.3 m. Sin embargo, tanto la dirección como la altura del oleaje presentan variaciones a lo largo de la costa del estado.

En el norte de la Laguna de Tamiahua, el oleaje más persistente proviene del sector noreste (NE) con alturas de ola aproximadamente de 1.3 m. El oleaje en esta zona incide de manera totalmente perpendicular a la costa. En cambio, hacia el Sur, a la altura de Nautla, el oleaje dominante proviene del cuadrante estenoreste (ENE). También resalta que desde Nautla hasta el Puerto de Veracruz se observó una altura de ola 1.2 m.

A partir del Puerto de Veracruz, el oleaje dominante proviene de la dirección NE hasta la zona de los Tuxtlas en donde cambia ligeramente de dirección. De este punto en adelante, el oleaje tiene una componente NNE y Norte con alturas de ola de 1.0 m.

A lo largo del año tanto la magnitud como la dirección del oleaje cambian (Figura 14 a la Figura 17). En términos generales, durante el primer y cuarto trimestre los oleajes tienden a ser más intensos, del orden de 1.5 m, con una componente norte más pronunciada en relación a los oleajes medios del segundo y tercer trimestre cuando son más suaves los oleajes, menores a un metro de altura de ola, y con una tendencia a provenir de los cuadrantes con componente este.

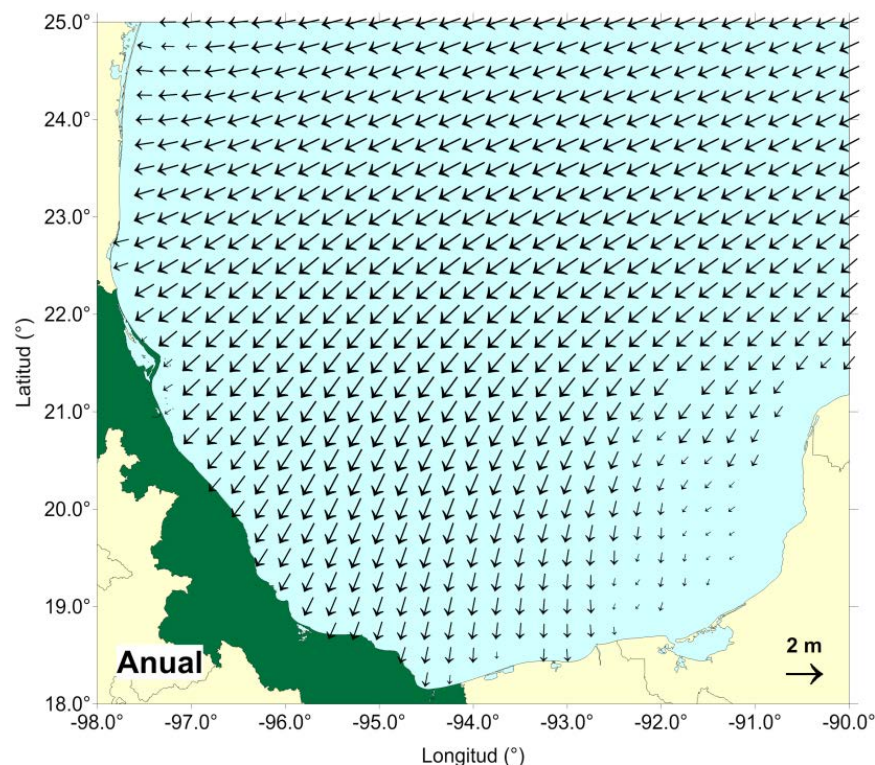


Figura 13. Altura de ola cuadrática media anual. Dirección e intensidad de la altura de ola.

Al observar la orientación de la costa y las intensidades y direcciones tanto del viento como el oleaje, es relativamente sencillo entender la existencia de una corriente marina media a lo largo del año que transporta los sedimentos, de manera predominante, de Norte a Sur, así como la orientación reinante que tienen las dunas

costeras, ya que las crestas de las dunas se orientan de manera perpendicular a la dirección dominante del viento.

Además, tanto la intensidad y dirección del viento como la altura significativa, período pico y dirección del oleaje presentan variaciones estacionales. La costa del estado se ha dividido en cinco regiones,

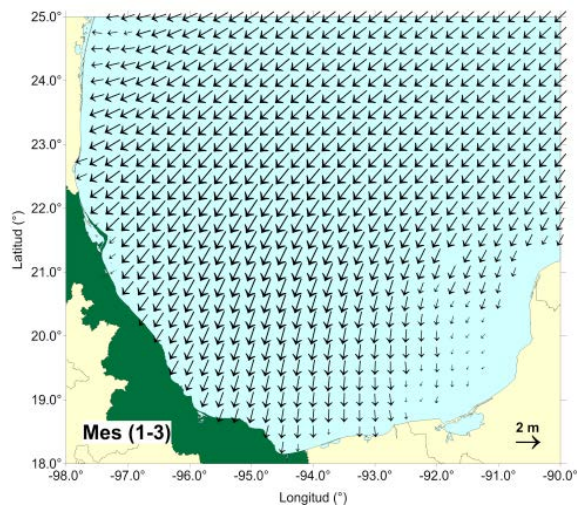


Figura 14. Dirección e intensidad del oleaje durante el primer trimestre del año en la costa veracruzana.

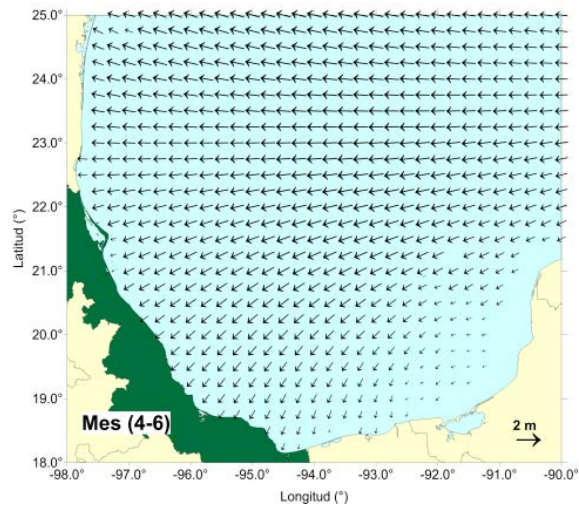


Figura 15. Dirección e intensidad del oleaje durante el segundo trimestre del año en la costa veracruzana.

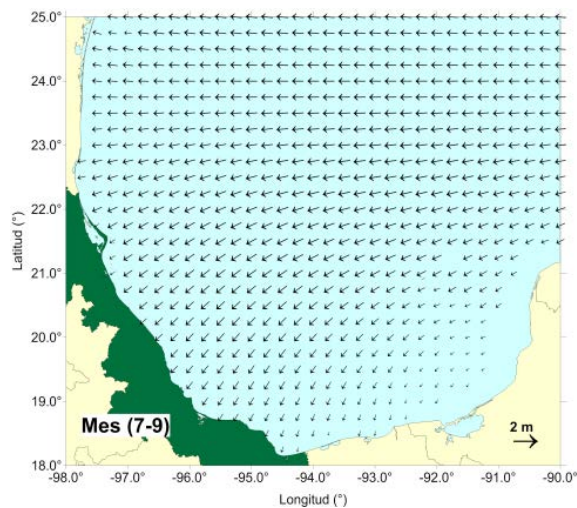


Figura 16. Dirección e intensidad del oleaje durante el tercer trimestre del año en la costa veracruzana.

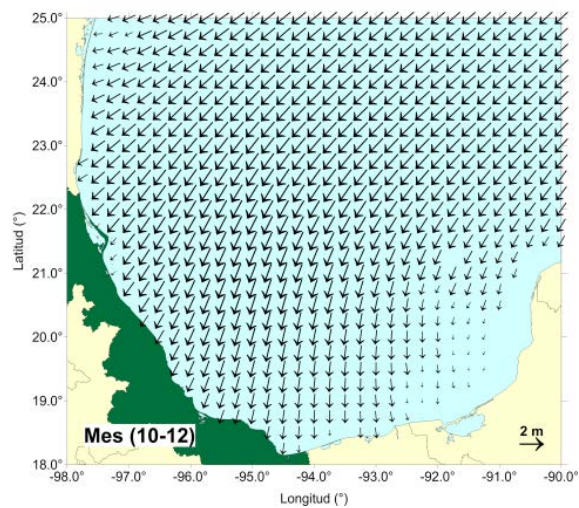


Figura 17. Dirección e intensidad del oleaje durante el cuarto trimestre del año en la costa veracruzana.

de acuerdo con su orientación, para facilitar la descripción de sus particularidades, medias anuales, estacionales y por dirección de incidencia.

Por facilidad en la descripción de los resultados se denotará CNO o costa norte al punto localizado en las coordenadas 97.25° W, 22.25° N, CCN o costa centro norte al punto 97.75° W, 21.25° N, CCE o costa central con ubicación 96.00° W, 20.25°N, el punto CCS o costa central sur se ubica en 95.25° W, 19.50° N y CSU o costa sur al punto 94.50° W, 18.75° N. Cada uno de estos puntos de referencia tiene una afectación diferenciada sobre el litoral veracruzano (Figura 18). Los municipios costeros que integran cada una de las regiones se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Municipios que pertenecen a cada una de las regiones océano-meteorológicas costeras de Veracruz.

Segmentación en regiones	Municipios
Costa Norte	Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama de Mascareñas
Costa Centro Norte	Tamiahua, Tuxpan, Cazones, Papantla, Gutiérrez Zamora, Tecolutla
Costa Centro	San Rafael, Nautla, Vega de la Torre, Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Actopan, Úrsulo Galván, La Antigua
Costa Centro Sur	Veracruz, Medellín, Boca del Río, Alvarado, Lerdo de Tejada, Ángel R. Cabada
Costa Sur	San Andrés Tuxtla, Catemaco, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez, Pajapan, Coatzacoalcos, Agua Dulce

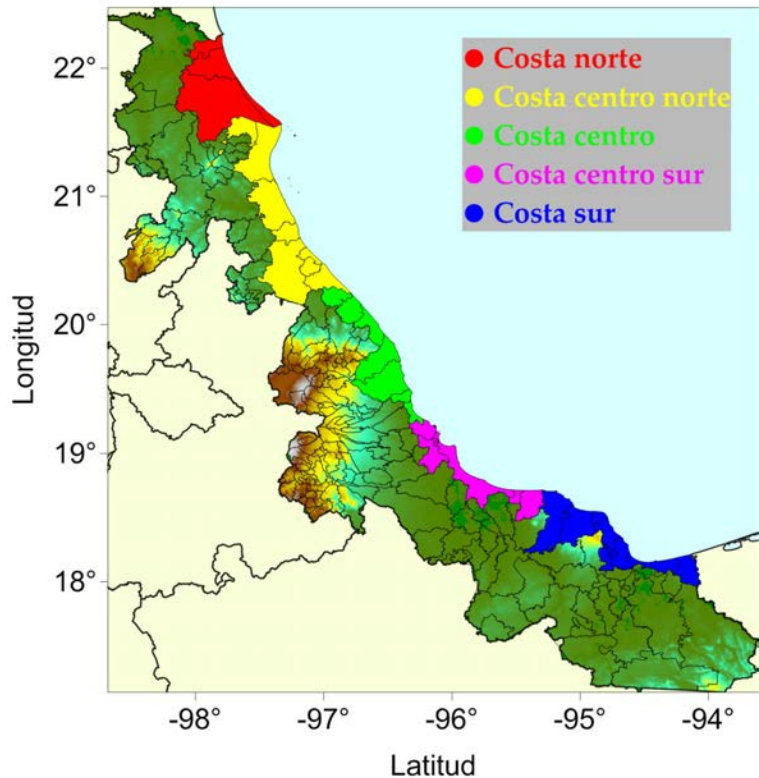


Figura 18. Segmentación en regiones según la orientación y ubicación de la costa veracruzana.

En la Figura 19 y en la Figura 20 se muestran las rosas de viento y oleaje, respectivamente, utilizando todos los datos horarios de la base de 61 años de reanálisis.

A diferencia de la información que se representó de la Figura 8 a la Figura 12, en la Figura 19 y la Figura 20 se puede observar que tanto el viento como el oleaje provienen de varios cuadrantes. Más aún, la direccionalidad del viento es más amplia que la del oleaje.

Con algunos matices, tanto las direcciones de incidencia del oleaje como del viento tienen una componente reinante (más común) con componentes del Este. En particular, si los vientos menores a 10 km/h se consideran calmas, de 10-25 km/h de intensidad baja, de 25 a 50 km/h de intensidad moderada y mayores a 50 km/h fuertes, de la Figura 19, se puede concluir lo siguiente:

- En la celda CNO: Los vientos más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y en menor proporción los de intensidad fuerte y calmas. Los vientos reinantes provienen de los cuadrantes ESE, SE y E, mientras que los dominantes del N, NNW y NNE.

- En la celda CCN: Los vientos más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad fuerte y calmas. Los vientos reinantes provienen de los cuadrantes E, SSE y ENE, mientras que los dominantes del N y NNW.

- En la celda CCE: Los vientos más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y en menor proporción las calmas

y los de intensidad fuerte. Los vientos reinantes provienen de los cuadrantes ENE, NE y NNE, mientras que los dominantes del N y NNW.

- En la celda CCS: Los vientos más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, las calmas y los de intensidad fuerte. Los vientos reinantes provienen de los cuadrantes NE, NNE y ENE, mientras que los dominantes del N.

- En la celda CSU: Los vientos más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por las calmas y de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad fuerte. Los vientos reinantes provienen de los cuadrantes NNE, NE, N y ENE, mientras que los dominantes del N.

Ahora, si al oleaje menor a 1 m se le considera de intensidad baja, de 1 a 2 m tormenta de intensidad moderada, de 2 a 5 m de intensidad alta y superiores a 5 m intensidad muy alta, de la Figura 20, se puede concluir lo siguiente:

- En la celda CNO: Los oleajes más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad alta y muy alta. El oleaje reinante incide desde los cuadrantes SE, ENE y ESE, mientras que los dominantes del N, NNW y NNE.

- En la celda CCN: Los oleajes más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad alta y muy alta. El oleaje reinante incide desde los cuadrantes ENE, E y NE, mientras que los dominantes del NNE y N.

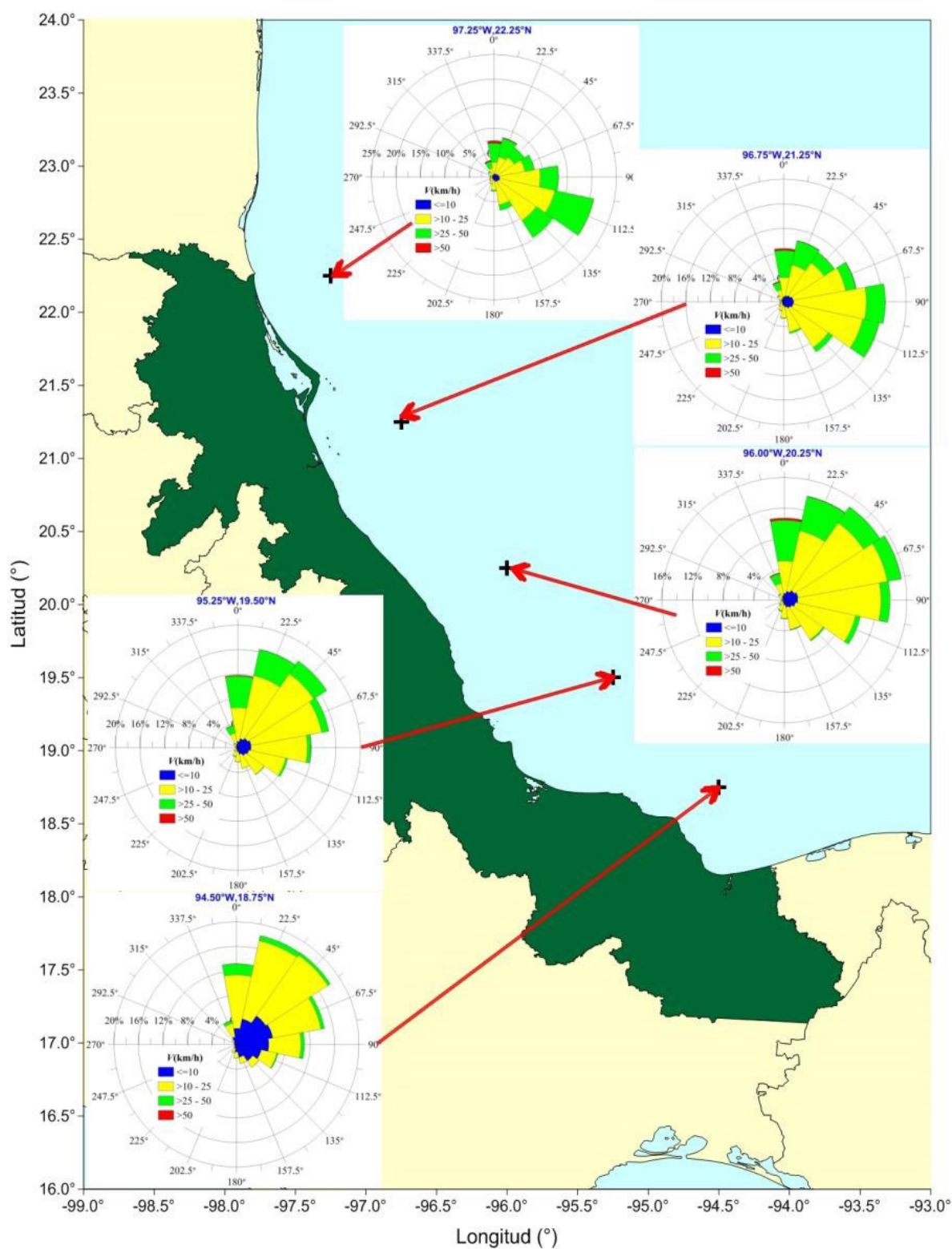


Figura 19. Rosas de viento anual. Las gráficas indican las condiciones de oleaje para cinco puntos en específico de la costa veracruzana.

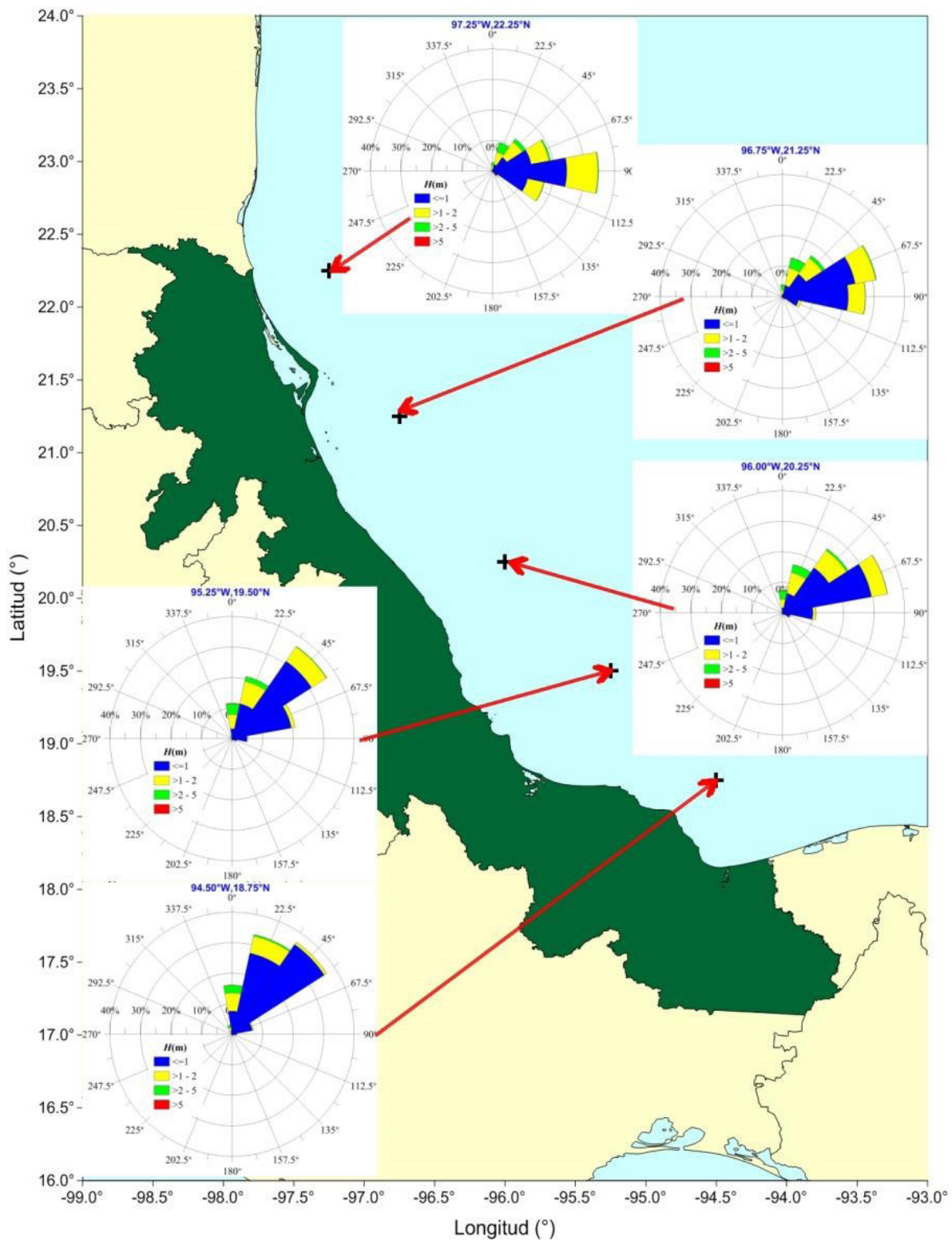


Figura 20. Rosas de oleaje anual. Las gráficas indican las condiciones de oleaje para cinco puntos en específico de la costa veracruzana.

- En la celda CCE: Los oleajes más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad alta y muy alta. El oleaje reinante incide desde los cuadrantes ENE, NE y NNE, mientras que los dominantes del N y NNE.

- En la celda CCS: Los oleajes más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad alta y muy alta. El oleaje reinante incide desde los cuadrantes NE, NNE y ENE, mientras que los dominantes del N y NNE.

- En la celda CSU: Los oleajes más frecuentes son de intensidad baja, seguidos por los de intensidad moderada y, en menor proporción, los de intensidad alta y muy alta. El oleaje reinante incide desde los cuadrantes NE y NNE, mientras que los dominantes del N.

COSTA NORTE (CNO) DEL MUNICIPIO PUEBLO VIEJO AL MUNICIPIO TAMPICO EL ALTO

En la Figura 21 se muestran las rosas de viento y oleaje en periodos anuales y estacionales. Las columnas representan, de izquierda a derecha, las rosas de: velocidades de viento de todo el registro (V), alturas de ola considerando todo el registro (H), alturas de ola que superaron el umbral de 5 m (H extremal) y periodos de oleaje de todo el registro (T). En la misma Figura 21, las filas de arriba abajo presentan las rosas correspondientes al análisis: anual, invierno, primavera, verano y otoño. Así, los meses (1-3) corresponden al invierno, (4-6) primavera, (7-9) verano y (10-12) otoño.

En el Cuadro 7 y en el Cuadro 8 se presentan los resultados de velocidades de viento para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 100 años de periodo de retorno. Para los ajustes de los valores máximos anuales, mensuales y por sectores de incidencia se empleó una distribución de valores extremos tipo Weibull (Silva, 2005). El Cuadro 7 y el Cuadro 8 muestran los valores de intensidad de viento por periodo de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente. De manera gráfica, en la Figura 22 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales.

Dada la importancia que tiene la persistencia en los procesos costeros, en la Figura 23 se presenta el número de eventos promedio anual que superan los umbrales de velocidad de viento de 50, 75, 100, 125 y 150 km/h para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos por categorías de velocidad del viento.

En relación al oleaje, en el Cuadro 9 y en el Cuadro 10 se presentan los resultados de alturas de ola para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 100 años de periodo de retorno. Para los ajustes de los valores máximos anuales, mensuales y por sectores de incidencia también se empleó una distribución de valores extremos tipo Weibull (Silva, 2005). El Cuadro 9 y el Cuadro 10 muestran los valores de la altura de ola por periodo de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente. De manera gráfica, en la Figura 24 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales.

Al igual que para el caso del viento, en la Figura 25 se presenta el número de eventos promedio anual que superan los

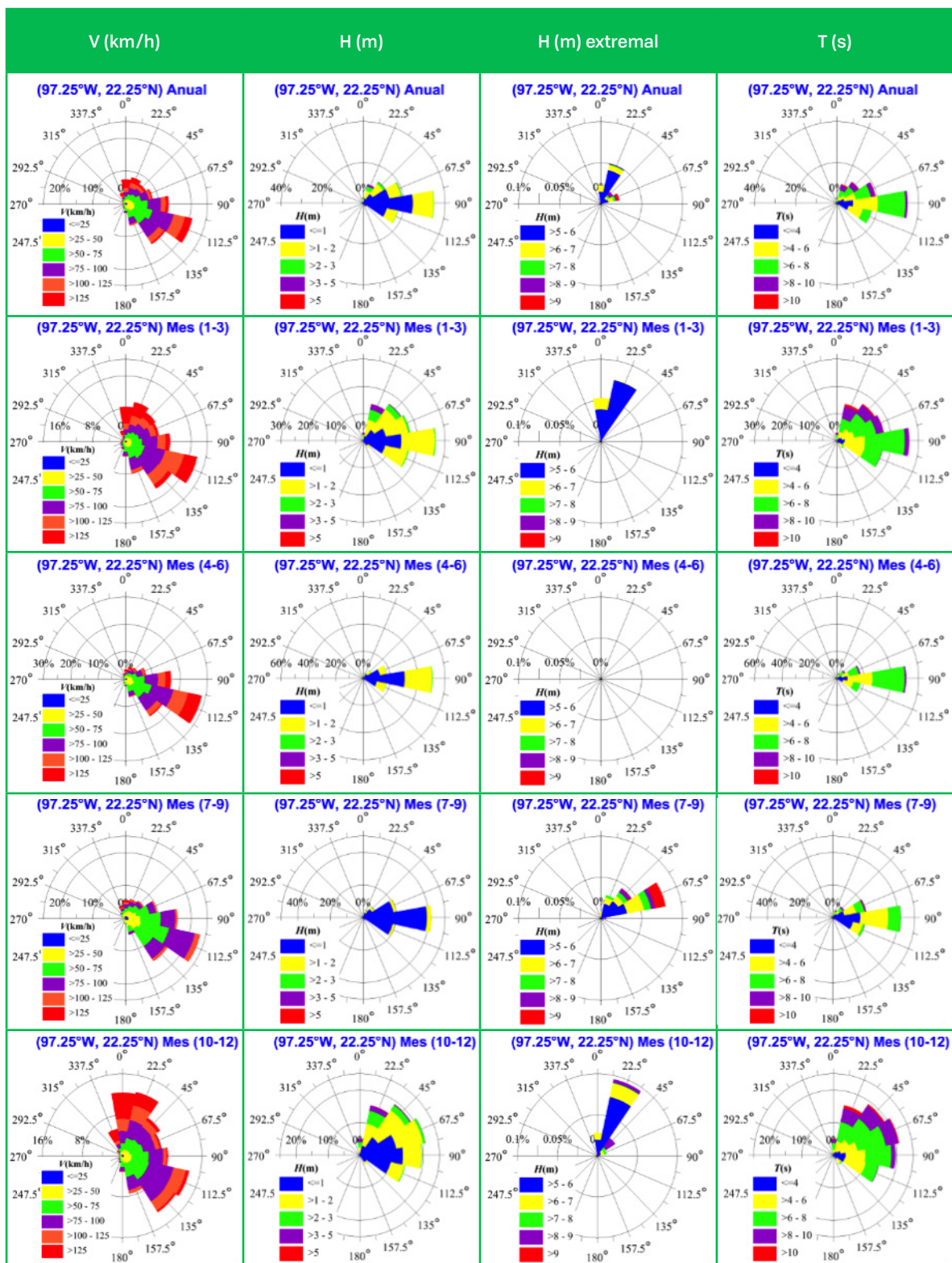


Figura 21. Costa Norte. Rosas de viento y oleaje anual y estacional.

Cuadro 7. Costa Norte. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 97.25°W 22.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	63.52	85.75	99.68	107.28	112.48	116.43	119.61	124.53	128.28	139.57
Enero	55.66	61.09	64.40	66.18	67.39	68.30	69.03	70.15	71.00	73.52
Febrero	52.43	60.98	65.14	67.08	68.30	69.15	69.81	70.75	71.43	73.23
Marzo	52.11	58.23	62.13	64.28	65.76	66.89	67.81	69.23	70.31	73.61
Abril	46.57	50.72	53.41	54.90	55.93	56.72	57.36	58.35	59.12	61.46
Mayo	44.66	48.58	50.60	51.58	52.20	52.64	52.99	53.49	53.86	54.86
Junio	28.84	44.48	51.96	55.41	57.55	59.05	60.19	61.85	63.01	66.11
Julio	24.42	39.59	49.07	54.24	57.78	60.46	62.62	65.96	68.50	76.15
Agosto	21.30	51.13	69.69	79.76	86.64	91.85	96.03	102.50	107.42	122.17
Septiembre	37.28	62.42	78.09	86.62	92.45	96.87	100.41	105.91	110.08	122.63
Octubre	43.08	61.70	73.37	79.74	84.10	87.41	90.07	94.20	97.34	106.80
Noviembre	53.61	60.47	64.66	66.92	68.45	69.61	70.53	71.96	73.03	76.24
Diciembre	55.50	61.21	64.10	65.48	66.36	66.98	67.46	68.17	68.67	70.06

Cuadro 8. Costa Norte. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 97.25°W 22.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	63.52	85.75	99.68	107.28	112.48	116.43	119.61	124.53	128.28	139.57
N	61.67	67.80	71.75	73.94	75.45	76.62	77.55	79.02	80.14	83.57
NNE	56.10	69.84	78.55	83.34	86.64	89.15	91.17	94.32	96.73	104.01
NE	47.35	67.78	80.59	87.58	92.37	96.00	98.92	103.45	106.90	117.28
ENE	43.19	71.90	89.74	99.41	106.01	111.01	115.03	121.23	125.94	140.08
E	41.09	60.91	73.38	80.19	84.88	88.43	91.29	95.73	99.11	109.32
ESE	41.66	51.40	56.34	58.71	60.21	61.28	62.10	63.31	64.18	66.56
SE	36.61	42.99	47.05	49.30	50.84	52.02	52.98	54.46	55.59	59.04
SSE	29.62	34.24	36.51	37.58	38.25	38.72	39.08	39.61	39.99	40.99
S	23.23	32.48	36.61	38.43	39.52	40.28	40.85	41.65	42.21	43.65
SSW	13.00	30.20	36.73	39.34	40.82	41.79	42.50	43.47	44.11	45.64
SW	11.81	31.81	40.97	45.07	47.58	49.32	50.62	52.50	53.81	57.21
WSE	10.09	31.81	41.35	45.52	48.02	49.74	51.01	52.83	54.08	57.27
W	20.54	36.86	43.81	46.79	48.56	49.76	50.65	51.90	52.76	54.92
WNW	24.11	39.01	44.94	47.38	48.79	49.73	50.42	51.37	52.01	53.56
NW	34.05	45.40	50.26	52.35	53.59	54.44	55.07	55.96	56.56	58.09
NNW	46.63	52.89	56.88	59.08	60.59	61.74	62.67	64.12	65.23	68.59

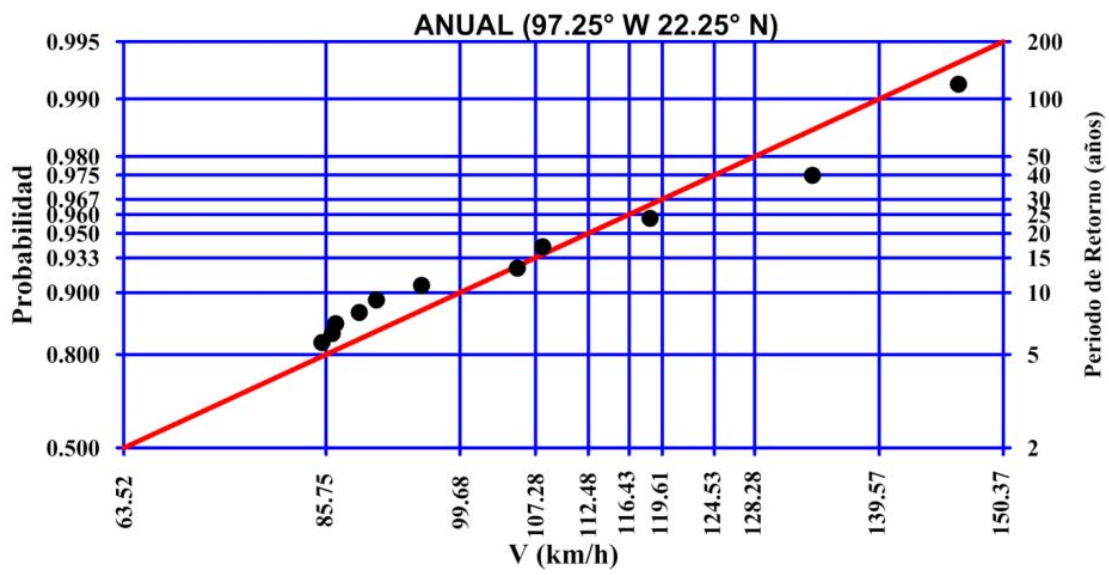


Figura 22. Costa Norte. Período de retorno por velocidad del viento.

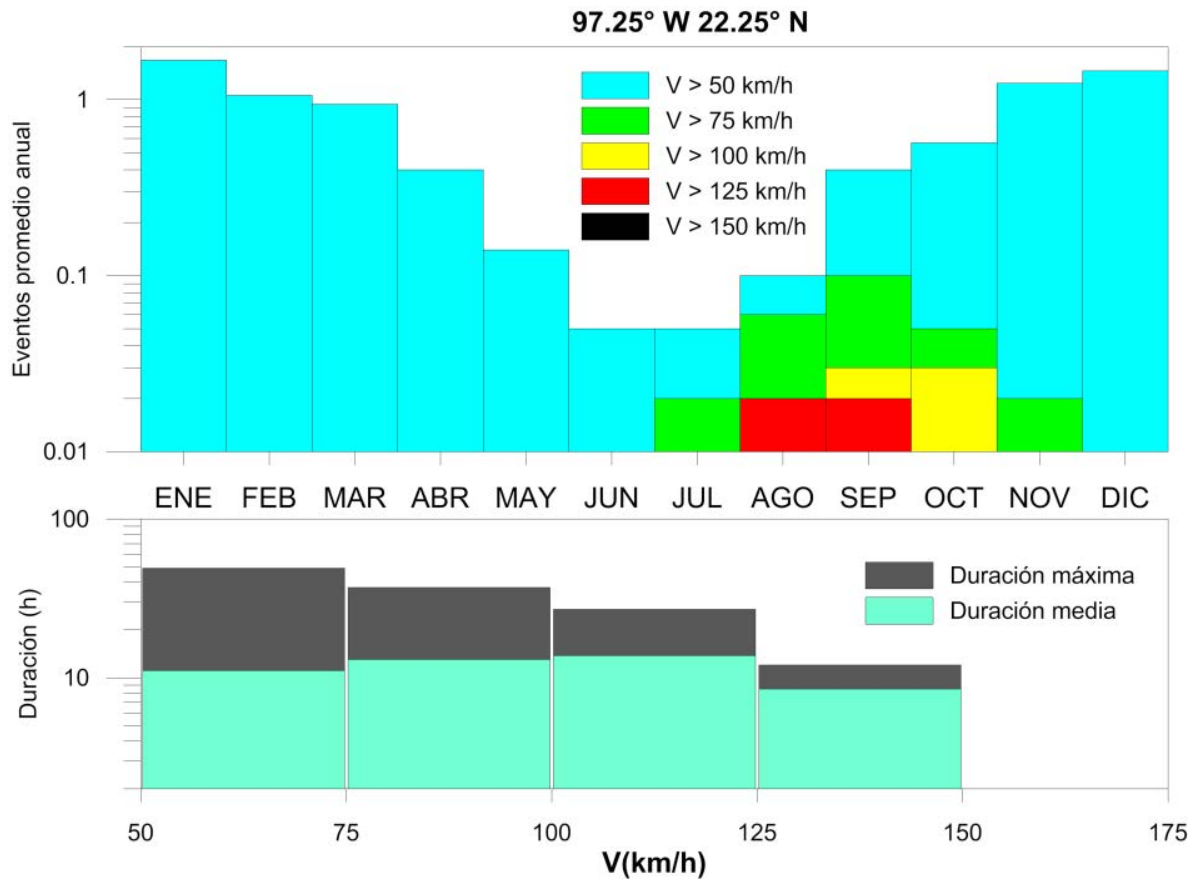


Figura 23. Costa Norte. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la intensidad del viento.

Cuadro 9. Costa Norte. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	97.25°W 22.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.13	6.84	7.91	8.50	8.91	9.21	9.46	9.84	10.13	11.01
Enero	3.82	4.61	5.12	5.39	5.58	5.73	5.85	6.03	6.17	6.59
Febrero	3.53	4.56	5.08	5.32	5.48	5.59	5.68	5.80	5.90	6.14
Marzo	3.27	4.31	4.78	5.00	5.12	5.21	5.28	5.37	5.44	5.61
Abril	2.58	3.16	3.46	3.60	3.69	3.75	3.80	3.87	3.92	4.07
Mayo	1.91	2.47	2.73	2.84	2.91	2.96	3.00	3.06	3.09	3.19
Junio	0.73	2.38	3.13	3.47	3.67	3.81	3.91	4.06	4.17	4.44
Julio	0.51	2.14	3.14	3.67	4.04	4.31	4.53	4.87	5.13	5.89
Agosto	0.38	3.30	5.09	6.06	6.72	7.22	7.61	8.23	8.69	10.08
Septiembre	2.12	4.44	5.88	6.66	7.19	7.59	7.91	8.40	8.78	9.90
Octubre	2.77	4.26	5.20	5.71	6.06	6.32	6.53	6.86	7.11	7.87
Noviembre	3.60	4.44	4.97	5.26	5.46	5.61	5.73	5.93	6.07	6.51
Diciembre	3.86	4.65	5.13	5.40	5.58	5.72	5.83	6.00	6.13	6.52

Cuadro 10. Costa Norte. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	97.25°W 22.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.13	6.84	7.91	8.50	8.91	9.21	9.46	9.84	10.13	11.01
N	4.36	5.47	5.99	6.22	6.37	6.47	6.54	6.65	6.73	6.92
NNE	4.55	5.57	6.21	6.57	6.81	7.00	7.15	7.38	7.56	8.10
NE	3.55	5.10	6.07	6.60	6.96	7.24	7.46	7.80	8.06	8.84
ENE	2.37	5.34	7.05	7.94	8.53	8.96	9.31	9.83	10.22	11.34
E	1.86	3.83	5.05	5.71	6.16	6.51	6.78	7.20	7.52	8.48
ESE	1.80	2.54	3.02	3.28	3.46	3.59	3.70	3.87	4.00	4.39
SE	1.53	1.75	1.86	1.91	1.94	1.97	1.99	2.01	2.03	2.09
SSE	1.08	1.35	1.48	1.54	1.57	1.60	1.62	1.64	1.66	1.71
S	0.87	1.17	1.34	1.43	1.49	1.53	1.57	1.62	1.66	1.77
SSW	0.39	1.01	1.29	1.41	1.49	1.54	1.58	1.64	1.68	1.78
SW	0.34	1.05	1.49	1.72	1.88	2.00	2.10	2.25	2.36	2.70
WSE	0.36	1.15	1.50	1.65	1.74	1.80	1.85	1.92	1.96	2.08
W	0.69	1.31	1.63	1.80	1.90	1.97	2.03	2.12	2.18	2.36
WNW	0.86	1.61	1.94	2.08	2.16	2.22	2.27	2.33	2.37	2.48
NW	1.28	1.93	2.22	2.35	2.42	2.47	2.51	2.57	2.60	2.70
NNW	2.16	2.84	3.26	3.49	3.65	3.78	3.87	4.03	4.14	4.49

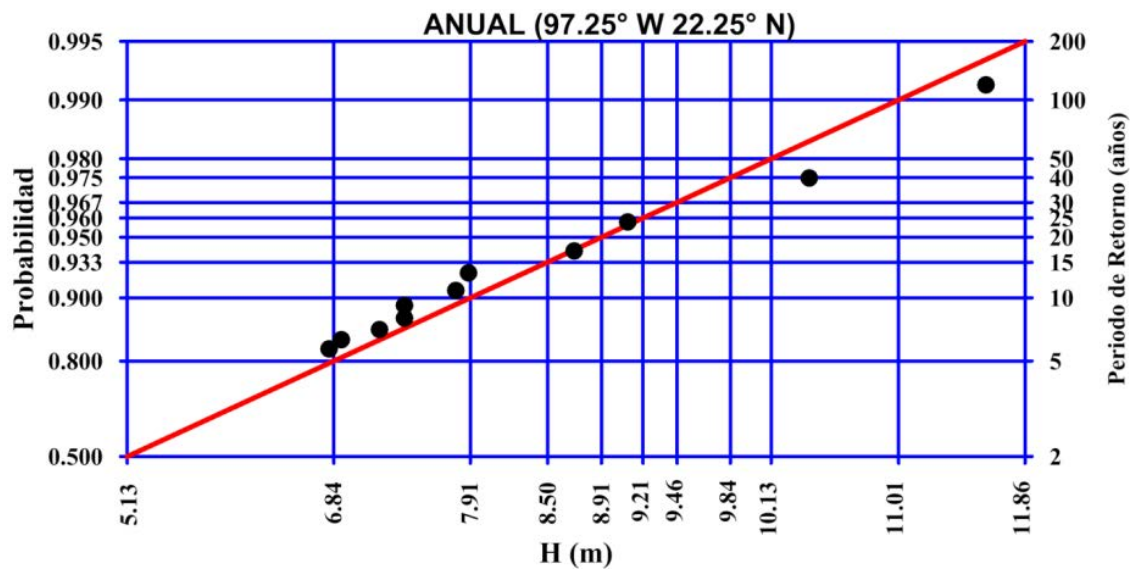


Figura 24. Costa Norte. Periodo de retorno versus altura de ola.

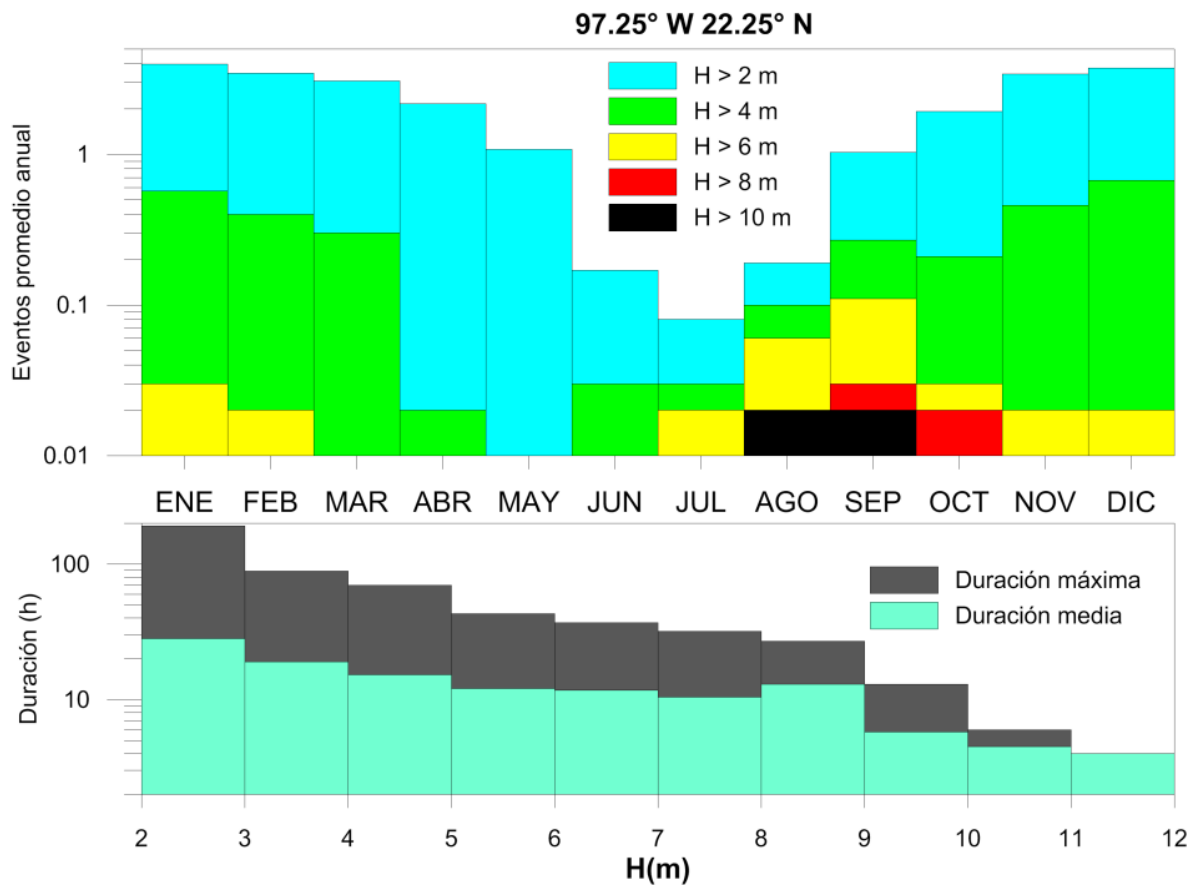


Figura 25. Costa Norte. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la altura máxima de las olas.

umbrales de altura de ola de 2, 4, 6, 8 y 10 m para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos por categoría de altura de ola.

De los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

- A lo largo del año, los vientos más frecuentes provienen del sector ESE. Sin embargo, en términos de intensidad los que provienen de entre los sectores N y ESE también tienen mucha importancia.

- En el primer trimestre del año, en términos de porcentaje, las mayores persistencias se dan con vientos provenientes del ESE, SE, E y NNE. Después, durante el segundo y tercer trimestres, las persistencias son SSE, E y SE. Finalmente, en el cuarto trimestre inciden desde el ESE, SE, NNE y N.

- En términos de la intensidad de los vientos, para periodos de retorno menores a 2 años (escala operativa) los vientos más intensos se presentan durante el mes de enero con una incidencia del sector Norte asociados a la época que, por obvia razones, se denomina de “Nortes”, mientras que para periodos de retorno mayores a 5 años se presentan en septiembre con una incidencia desde el sector ENE, asociados a la temporada de huracanes.

- En cuanto al número de eventos medios, durante los meses de enero y diciembre se presentan tormentas con mayor frecuencia, sin embargo, los eventos de mayor intensidad ocurren en los meses de agosto y septiembre.

- Los periodos de oleaje medios oscilan entre los 6 y 8 s, pudiendo superar los 10 s con eventos que inciden desde los sectores NNE y NE.

- De los resultados del análisis anual, las alturas de ola más frecuentes provienen del sector E, ENE y ESE, sin embargo en términos de intensidad, los que provienen entre los sectores ENE, NE, NNE y N tienen mayor relevancia. En el primer y cuarto trimestre del año, en términos de porcentaje, las alturas de ola más altas provienen del NNE, durante el segundo trimestre propiamente se tiene una época de calmas, mientras que en el tercer trimestre inciden desde el ENE.

- En términos de la altura de ola, para periodos de retorno menores a 5 años (escala operativa) los oleajes más intensos se presentan durante el mes de diciembre con una incidencia del sector Norte asociados a la época de “Nortes”, mientras que para periodos de retorno mayores a 10 años se presentan en septiembre (agosto para periodos de retorno muy altos) con una incidencia desde el sector ENE, asociados a la temporada de huracanes.

COSTA CENTRO NORTE (CCN) DEL MUNICIPIO DE TAMIAHUA AL MUNICIPIO DE TECOLUTLA

En la Figura 26 se muestran las rosas de viento y oleaje en periodos anuales y estacionales. Las columnas representan, de izquierda a derecha, las rosas de: velocidades de viento de todo el registro (V), alturas de ola considerando todo el registro (H), alturas de ola que superaron el umbral de 5 m (H extremal) y periodos de oleaje de todo el registro (T). En la misma figura se presentan, de arriba abajo, las rosas correspondientes al análisis anual y trimestral. Los meses (1-3) corresponden al invierno, (4-6) primavera, (7-9) verano y (10-12) otoño.

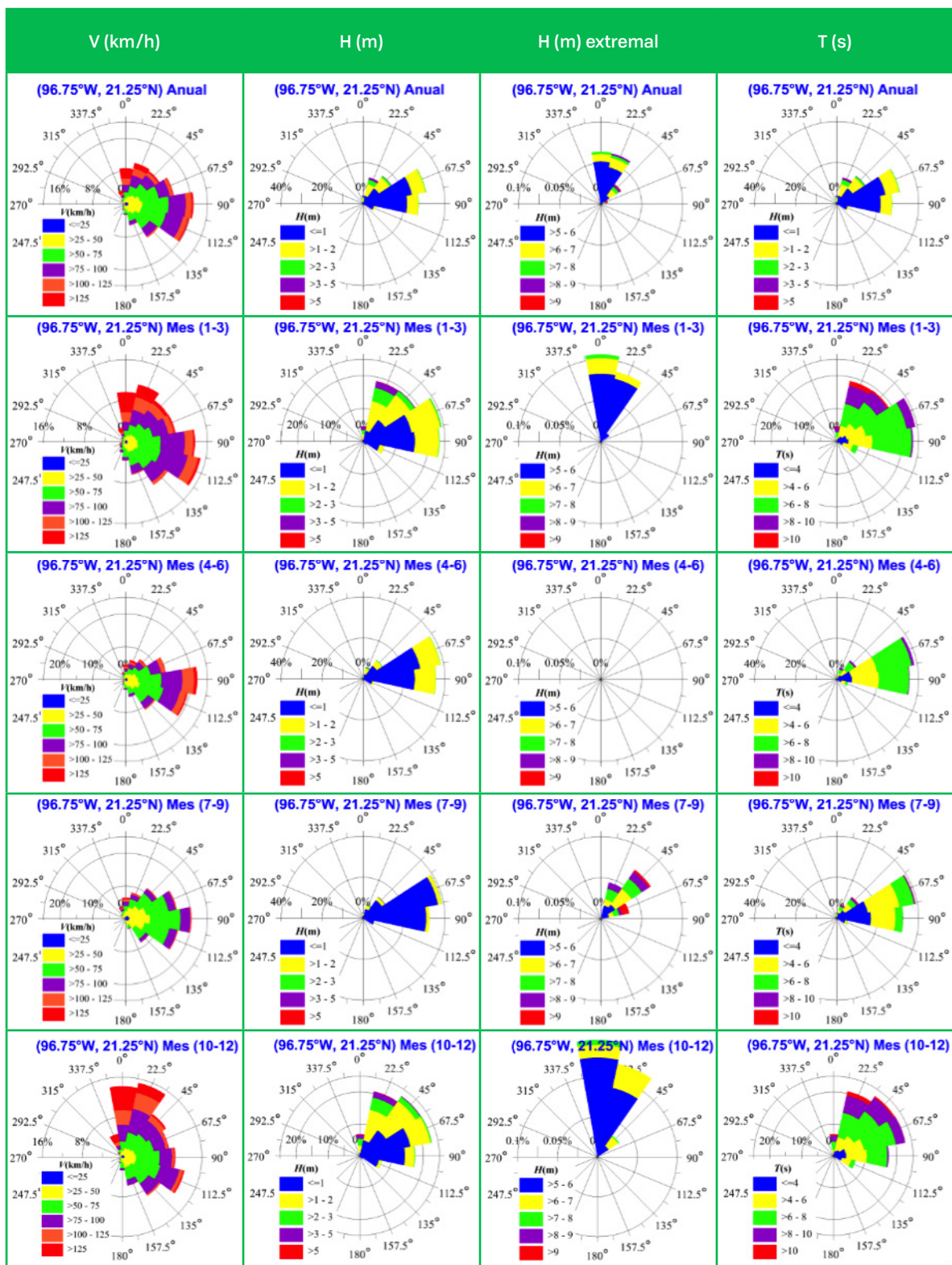


Figura 26. Costa Centro Norte. Rosas de viento y oleaje anual y estacional.

En el Cuadro 11 y en el Cuadro 12 se presentan los valores de intensidad de viento por periodos de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente. En la Figura 27 se presenta gráficamente el ajuste de extremos de los máximos anuales. En la Figura 28 se presenta el número de eventos medio anual que superan los umbrales de velocidad de viento para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según su velocidad.

En el Cuadro 13 y en el Cuadro 14 se presentan las alturas de ola por periodo de retorno por mes y por sector, respectivamente. Gráficamente, en la Figura 29 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales. En la Figura 30 se presenta el número medio anual de eventos que superan los umbrales de altura de ola de 2, 4, 6, 8 y 10 m para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según la altura de ola.

De los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

- Los vientos más frecuentes provienen de los sectores E y ESE, sin embargo, son más energéticos los que provienen del sector N. En el primer trimestre del año son más frecuentes los vientos provenientes del ESE, E y NNE, en el segundo y tercer trimestre del E y ESE, mientras que en el cuarto trimestre desde el NNE y N.

- En términos de la intensidad de los vientos, para periodos de retorno menores a 2 años los vientos más intensos se presentan en el mes de diciembre con una incidencia del sector Norte, mientras que para periodos de

retorno mayores a 5 años se presentan en agosto/septiembre con una incidencia desde el sector ENE.

- Durante los meses de enero y diciembre se presenta al mayor número de tormentas, sin embargo, los eventos de mayor intensidad se presentan en el mes de agosto.

- Los periodos de oleaje medios oscilan entre 6 y 8 s, pudiendo superar los 10 s con eventos que inciden desde los sectores N, NNE y NE.

- De los resultados del análisis anual, las alturas de ola más frecuentes provienen del sector E, ENE y NE, sin embargo en términos de intensidad, los que provienen entre los sectores ENE, NE y N tienen mayor relevancia. En el primer y cuarto trimestre del año, en términos de porcentaje, las alturas de ola más altas provienen del NNE, durante el segundo trimestre propiamente es una época de calmas, mientras que en el tercer trimestre inciden desde el NE.

- Respecto de la altura de ola, para periodos de retorno menores a 2 años los oleajes más intensos se presentan durante el mes de diciembre con una incidencia del sector Norte, mientras que para periodos de retorno mayores a 5 años se presentan en septiembre y agosto con una incidencia desde el sector ENE.

- En cuanto al número de eventos medios, durante los meses de enero, noviembre y diciembre se presentan tormentas con mayor frecuencia

- En cuanto a la intensidad de los eventos, los de mayor intensidad ocurren en el mes de agosto.

Cuadro 11. Costa Centro Norte. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 96.75°W 21.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	58.69	82.56	96.02	102.90	107.43	110.76	113.38	117.34	120.27	128.65
Enero	50.72	56.03	59.25	60.97	62.14	63.01	63.71	64.78	65.59	68.00
Febrero	49.23	56.42	60.12	61.90	63.03	63.84	64.46	65.38	66.05	67.87
Marzo	48.33	54.02	57.35	59.09	60.25	61.12	61.80	62.84	63.62	65.89
Abril	43.21	47.80	50.37	51.67	52.52	53.15	53.65	54.39	54.94	56.50
Mayo	37.64	42.53	44.95	46.08	46.79	47.30	47.69	48.25	48.65	49.73
Junio	29.08	34.79	38.41	40.40	41.76	42.80	43.64	44.94	45.94	48.95
Julio	11.64	39.64	52.32	57.97	61.39	63.77	65.54	68.09	69.86	74.44
Agosto	15.75	48.56	68.63	79.41	86.73	92.25	96.67	103.47	108.61	123.92
Septiembre	33.57	66.60	82.58	90.00	94.61	97.86	100.33	103.93	106.48	113.27
Octubre	43.09	55.79	63.81	68.21	71.23	73.53	75.38	78.25	80.44	87.07
Noviembre	49.44	56.70	60.48	62.31	63.48	64.33	64.98	65.94	66.64	68.55
Diciembre	51.91	57.48	60.28	61.60	62.44	63.03	63.49	64.16	64.64	65.94

Cuadro 12. Costa Centro Norte. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 96.75°W 21.25°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	58.69	82.56	96.02	102.90	107.43	110.76	113.38	117.34	120.27	128.65
N	56.63	63.42	67.78	70.20	71.87	73.15	74.18	75.79	77.03	80.79
NNE	51.89	64.16	71.94	76.21	79.16	81.40	83.20	86.01	88.15	94.65
NE	41.29	68.00	82.20	89.20	93.70	96.97	99.50	103.26	106.01	113.64
ENE	32.01	66.47	85.19	94.52	100.59	105.00	108.45	113.60	117.37	127.97
E	23.97	54.22	68.19	74.49	78.34	81.03	83.05	85.95	87.99	93.29
ESE	34.35	42.02	45.69	47.38	48.43	49.16	49.72	50.53	51.10	52.61
SE	28.94	33.75	36.76	38.41	39.53	40.39	41.08	42.14	42.95	45.40
SSE	25.10	30.28	32.67	33.75	34.41	34.87	35.22	35.72	36.06	36.97
S	21.17	29.65	34.70	37.36	39.15	40.49	41.56	43.19	44.41	48.00
SSW	14.00	30.42	37.05	39.80	41.40	42.48	43.26	44.36	45.10	46.91
SW	8.21	28.23	35.85	38.90	40.63	41.77	42.60	43.73	44.48	46.28
WSE	9.47	27.42	34.35	37.14	38.74	39.80	40.57	41.62	42.32	44.01
W	9.91	28.17	35.06	37.80	39.35	40.38	41.11	42.12	42.79	44.38
WNW	15.90	31.62	37.83	40.37	41.83	42.81	43.53	44.51	45.17	46.78
NW	26.37	39.26	44.68	46.99	48.36	49.28	49.97	50.93	51.59	53.23
NNW	44.15	52.73	56.89	58.81	60.01	60.86	61.50	62.43	63.10	64.86

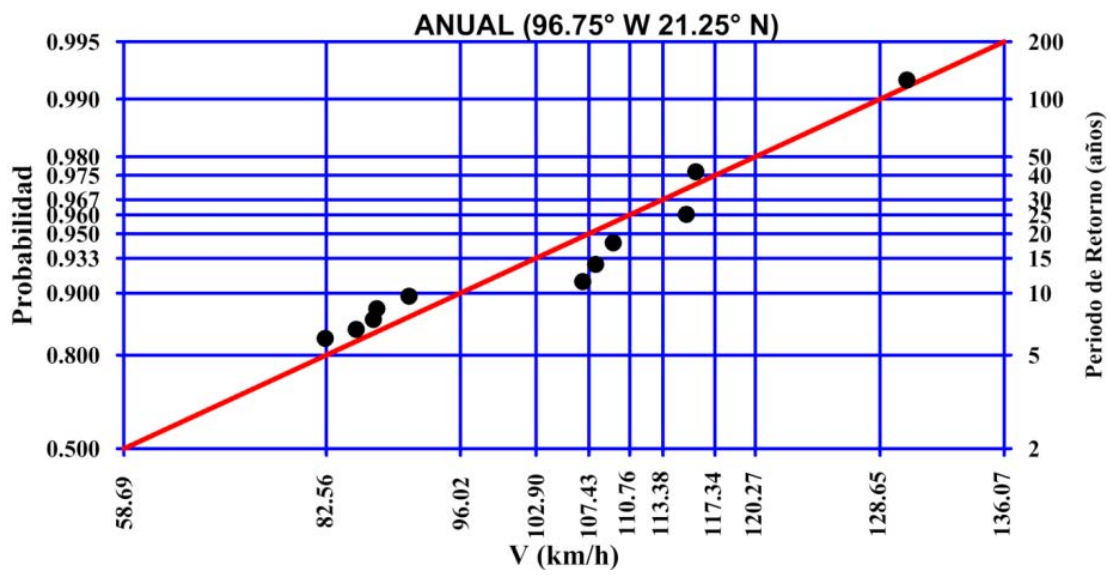


Figura 27. Costa Centro Norte. Periodo de retorno versus velocidad de viento.

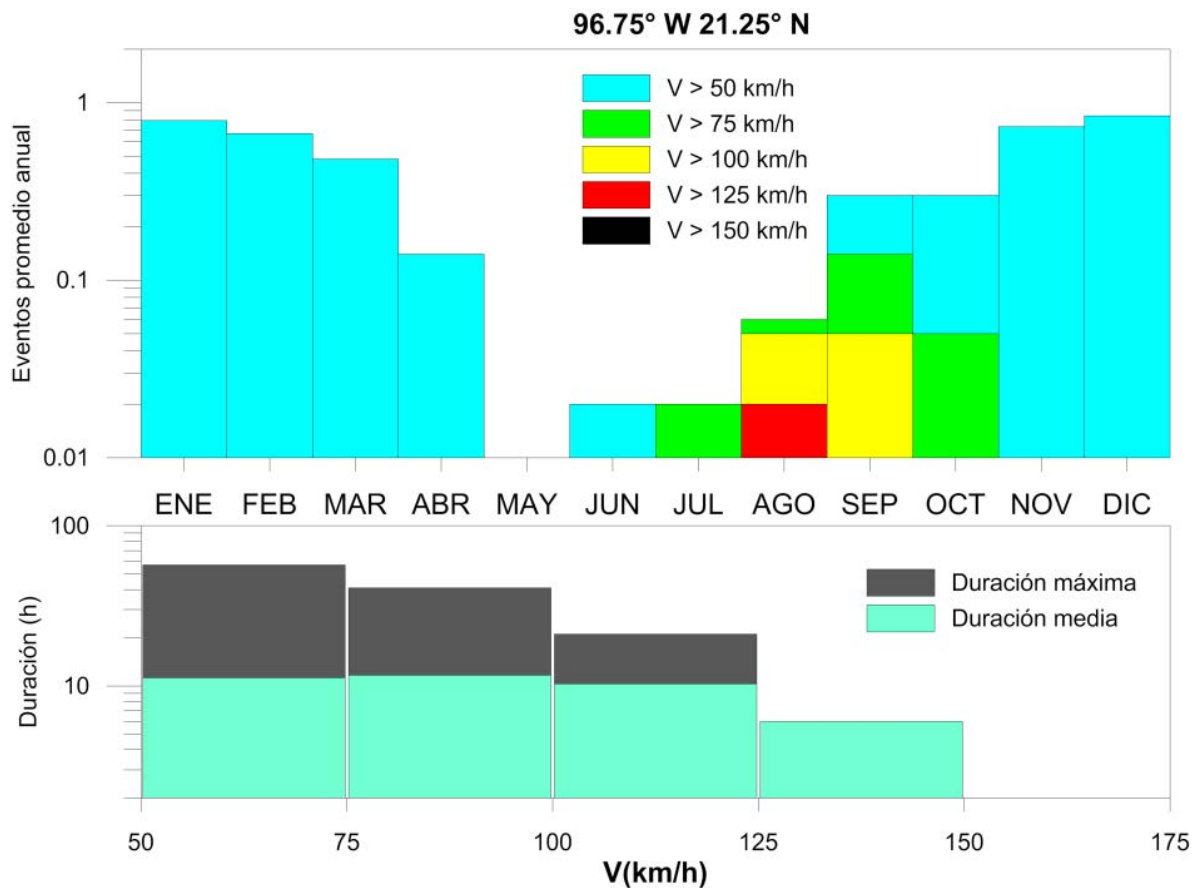


Figura 28. Costa Centro Norte. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la intensidad del viento.

Cuadro 13. Costa Centro Norte. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	96.75°W					21.25°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.28	7.06	7.97	8.40	8.68	8.88	9.03	9.26	9.42	9.87
Enero	4.06	4.95	5.51	5.81	6.01	6.17	6.30	6.49	6.63	7.07
Febrero	3.69	4.65	5.15	5.39	5.55	5.66	5.75	5.87	5.97	6.22
Marzo	3.45	4.53	5.10	5.37	5.55	5.68	5.77	5.92	6.02	6.31
Abril	2.70	3.32	3.61	3.74	3.82	3.88	3.92	3.98	4.03	4.14
Mayo	1.64	2.43	2.76	2.90	2.98	3.04	3.08	3.14	3.18	3.28
Junio	1.26	1.90	2.30	2.52	2.67	2.79	2.88	3.02	3.13	3.46
Julio	-	2.21	3.20	3.63	3.89	4.07	4.20	4.39	4.52	4.86
Agosto	-	4.10	6.33	7.28	7.84	8.22	8.50	8.89	9.16	9.82
Septiembre	1.76	5.15	6.53	7.10	7.43	7.66	7.82	8.05	8.20	8.58
Octubre	3.11	4.35	5.11	5.52	5.80	6.01	6.18	6.44	6.63	7.22
Noviembre	3.77	4.71	5.30	5.62	5.85	6.02	6.16	6.37	6.53	7.02
Diciembre	4.13	5.08	5.61	5.87	6.04	6.17	6.27	6.42	6.52	6.83

Cuadro 14. Costa Centro Norte. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	96.75°W					21.25°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.28	7.06	7.97	8.40	8.68	8.88	9.03	9.26	9.42	9.87
N	4.89	5.94	6.42	6.64	6.78	6.87	6.94	7.04	7.11	7.30
NNE	4.88	5.75	6.30	6.61	6.82	6.98	7.11	7.31	7.46	7.93
NE	3.41	5.19	6.31	6.92	7.33	7.65	7.90	8.29	8.59	9.49
ENE	0.85	5.44	7.27	8.02	8.46	8.75	8.96	9.25	9.45	9.93
E	0.17	3.35	4.76	5.38	5.75	6.01	6.20	6.47	6.66	7.15
ESE	1.04	2.05	2.47	2.65	2.75	2.82	2.87	2.94	2.99	3.11
SE	0.56	1.58	2.05	2.25	2.38	2.47	2.53	2.63	2.70	2.87
SSE	0.81	1.04	1.15	1.21	1.24	1.27	1.28	1.31	1.33	1.38
S	0.75	1.00	1.14	1.22	1.26	1.30	1.32	1.36	1.39	1.47
SSW	0.43	0.93	1.15	1.24	1.29	1.33	1.36	1.39	1.42	1.48
SW	0.28	0.88	1.12	1.22	1.28	1.32	1.35	1.39	1.42	1.49
WSE	0.31	0.92	1.15	1.23	1.28	1.32	1.34	1.37	1.39	1.44
W	0.33	0.95	1.20	1.30	1.37	1.41	1.44	1.48	1.51	1.58
WNW	0.52	1.09	1.32	1.41	1.46	1.50	1.52	1.56	1.58	1.64
NW	0.92	1.58	1.86	1.98	2.05	2.10	2.13	2.18	2.22	2.30
NNW	1.92	3.06	3.62	3.89	4.05	4.17	4.26	4.39	4.48	4.73

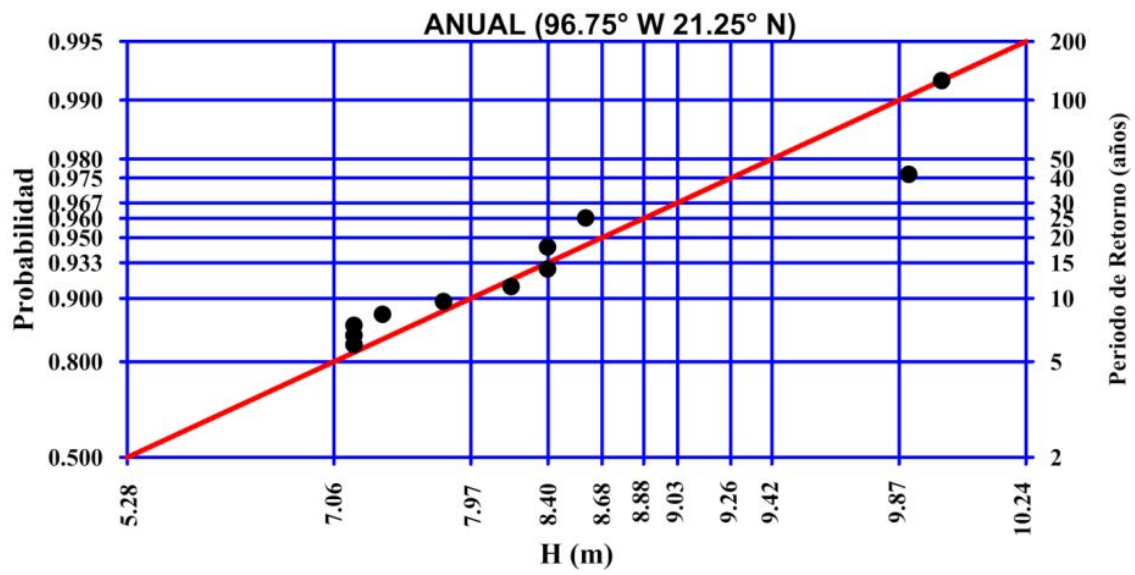


Figura 29. Costa Centro Norte. Periodo de retorno por altura de ola.

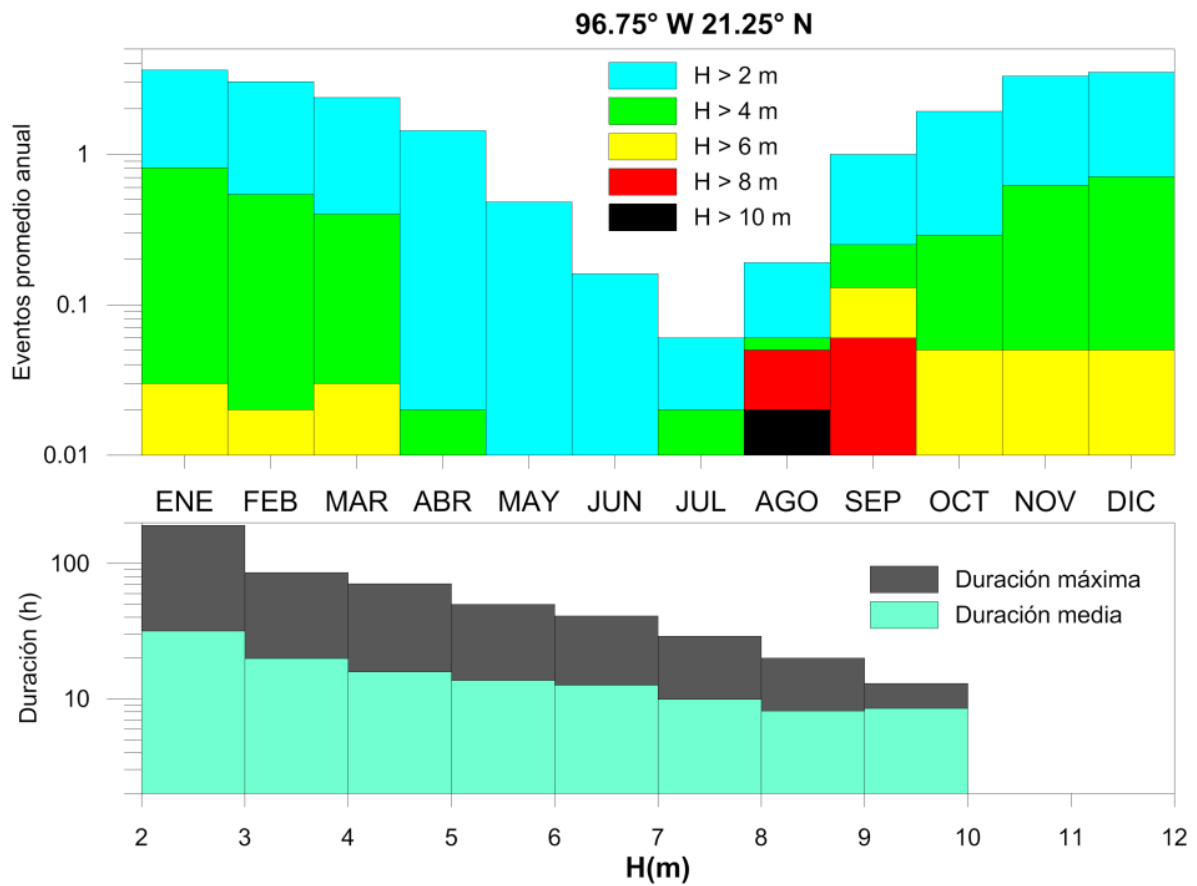


Figura 30. Costa Centro Norte. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según su altura de ola.

**COSTA CENTRO (CCE)
DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL
AL MUNICIPIO DE LA ANTIGUA**

En la Figura 31 se muestran las rosas de viento y oleaje en periodos anuales y estacionales. Las columnas representan, de izquierda a derecha, las rosas de: velocidades de viento de todo el registro (V), alturas de ola considerando todo el registro (H), alturas de ola que superaron el umbral de 5 m (H extremal) y periodos de oleaje de todo el registro (T). En la misma figura se presentan, de arriba abajo, las rosas correspondientes al análisis: anual y trimestral. Los meses (1-3) corresponden al invierno, (4-6) primavera, (7-9) verano y (10-12) otoño.

En el Cuadro 15 y en el Cuadro 16 se presentan los valores de intensidad de viento por periodos de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente. En la Figura 32 se presenta gráficamente el ajuste de extremos de los máximos anuales. En la Figura 33 se presenta el número de eventos medio anual que superan los umbrales de velocidad de viento para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según su velocidad.

En el Cuadro 17 y en el Cuadro 18 se presentan las alturas de ola por periodo de retorno por mes y por sector, respectivamente. Gráficamente, en la Figura 34 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales. En la Figura 35 se presenta el número medio anual de eventos que superan los umbrales de altura de ola de 2, 4, 6, 8 y 10 m para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según la altura de ola.

De los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

- En términos de la intensidad de los vientos, para periodos de retorno menores a 2 años los vientos más intensos se presentan en el mes de diciembre con una incidencia del sector NNW, mientras que para periodos de retorno mayores a 5 años se presentan en septiembre/octubre con una incidencia desde los sectores N y NE.

- Durante los meses de enero, febrero y diciembre se presenta el mayor número de tormentas. Sin embargo, los eventos de mayor intensidad se presentan en el mes de septiembre.

- Los periodos de oleaje medios oscilan entre 6 y 8 s, pudiendo superar los 10 s con eventos que inciden desde los sectores N, NNE y NE.

- Las alturas de ola más frecuentes provienen del sector ENE, sin embargo, en términos de intensidad los que provienen del sector N tienen mayor energía. En el primer y cuarto trimestre del año, en términos de su porcentaje, las alturas de ola más altas provienen del N, durante el segundo trimestre propiamente es una época de calmas y en el tercer trimestre inciden desde el NE.

- Respecto de la altura de ola, para periodos de retorno menores a 5 años los oleajes más intensos se presentan durante el mes de enero con una incidencia del sector norte, mientras que para periodos de retorno entre 10 y 15 años se presentan en septiembre con una incidencia desde el norte y para periodos de retorno mayores a 20 años se presentan en septiembre con una incidencia desde el sector NE.

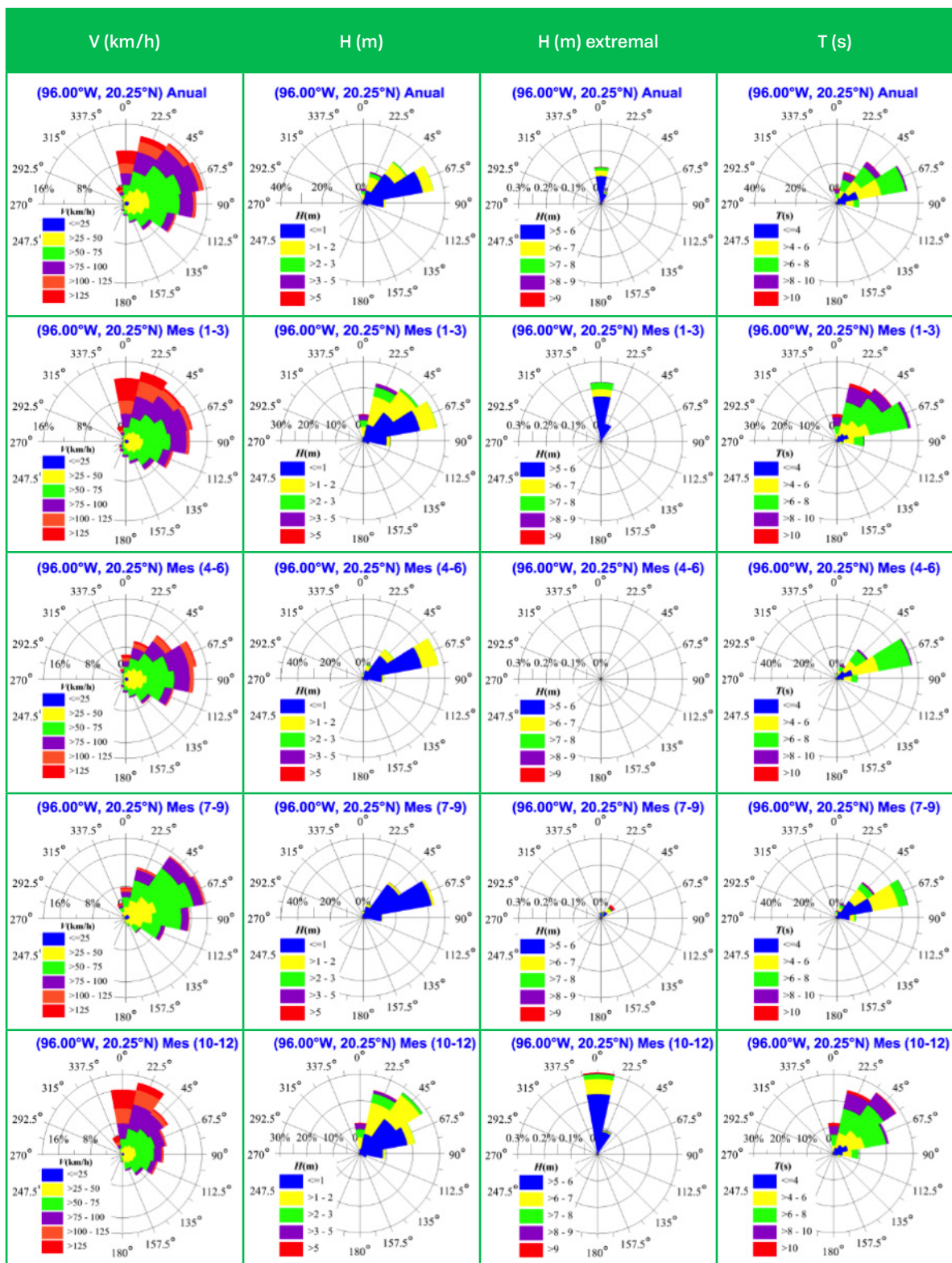


Figura 31. Costa Centro. Rosas de viento y oleaje anual y estacional.

Cuadro 15. Costa Centro. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

Viento (km/h) 96.00°W 20.25°N										
TR (años)	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	54.93	82.28	98.00	106.12	111.51	115.50	118.65	123.42	126.97	137.22
Enero	50.17	55.00	58.12	59.84	61.04	61.96	62.69	63.85	64.73	67.43
Febrero	48.95	55.25	58.36	59.81	60.72	61.37	61.86	62.58	63.09	64.46
Marzo	48.70	53.94	57.31	59.17	60.46	61.45	62.24	63.49	64.44	67.34
Abril	43.76	47.91	50.13	51.23	51.93	52.45	52.85	53.44	53.87	55.08
Mayo	35.08	40.85	43.85	45.32	46.25	46.93	47.45	48.22	48.78	50.32
Junio	27.75	32.79	35.75	37.30	38.34	39.11	39.73	40.66	41.37	43.41
Julio	20.17	34.70	41.62	44.80	46.76	48.14	49.19	50.70	51.77	54.60
Agosto	3.42	54.53	74.83	83.16	87.97	91.19	93.53	96.78	98.96	104.27
Septiembre	32.98	62.68	81.04	90.97	97.74	102.86	106.96	113.29	118.10	132.48
Octubre	28.40	63.55	80.02	87.51	92.11	95.34	97.77	101.28	103.74	110.21
Noviembre	48.53	55.02	59.17	61.47	63.06	64.28	65.26	66.79	67.96	71.52
Diciembre	50.20	55.73	58.51	59.84	60.68	61.27	61.73	62.41	62.89	64.20

Cuadro 16. Costa Centro. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

Viento (km/h) 96.00°W 20.25°N										
TR (años)	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	54.93	82.28	98.00	106.12	111.51	115.50	118.65	123.42	126.97	137.22
N	44.38	72.41	85.87	92.09	95.95	98.67	100.73	103.72	105.84	111.46
NNE	45.77	67.23	80.64	87.94	92.95	96.74	99.78	104.50	108.09	118.89
NE	37.27	66.14	84.04	93.73	100.35	105.35	109.37	115.57	120.28	134.40
ENE	33.57	52.89	64.94	71.50	75.98	79.38	82.11	86.34	89.55	99.21
E	19.40	46.05	58.46	64.09	67.54	69.95	71.77	74.39	76.23	81.04
ESE	27.59	34.05	37.10	38.50	39.36	39.96	40.41	41.07	41.54	42.76
SE	27.03	31.82	34.36	35.60	36.40	36.98	37.43	38.10	38.58	39.92
SSE	25.16	30.78	34.35	36.31	37.66	38.68	39.51	40.80	41.78	44.77
S	25.40	30.33	32.91	34.17	34.98	35.56	36.01	36.67	37.15	38.49
SSW	22.06	31.10	35.07	36.81	37.85	38.57	39.10	39.86	40.38	41.72
SW	15.84	28.61	33.45	35.39	36.49	37.22	37.75	38.47	38.94	40.08
WSE	14.75	26.88	32.02	34.23	35.53	36.42	37.08	38.00	38.63	40.22
W	18.54	30.04	34.97	37.10	38.36	39.22	39.86	40.76	41.38	42.94
WNW	14.12	31.48	37.91	40.44	41.86	42.79	43.46	44.38	44.98	46.40
NW	22.66	37.99	44.05	46.53	47.96	48.92	49.61	50.58	51.22	52.79
NNW	46.34	53.43	56.87	58.47	59.47	60.17	60.71	61.49	62.04	63.52

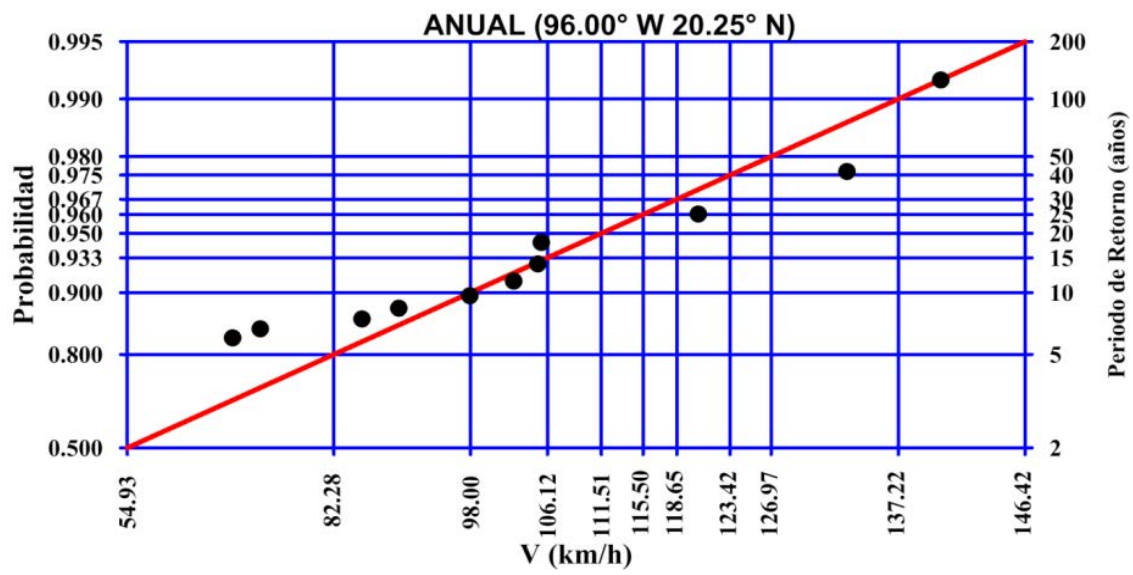


Figura 32. Costa Centro. Periodo de retorno por velocidad de viento.

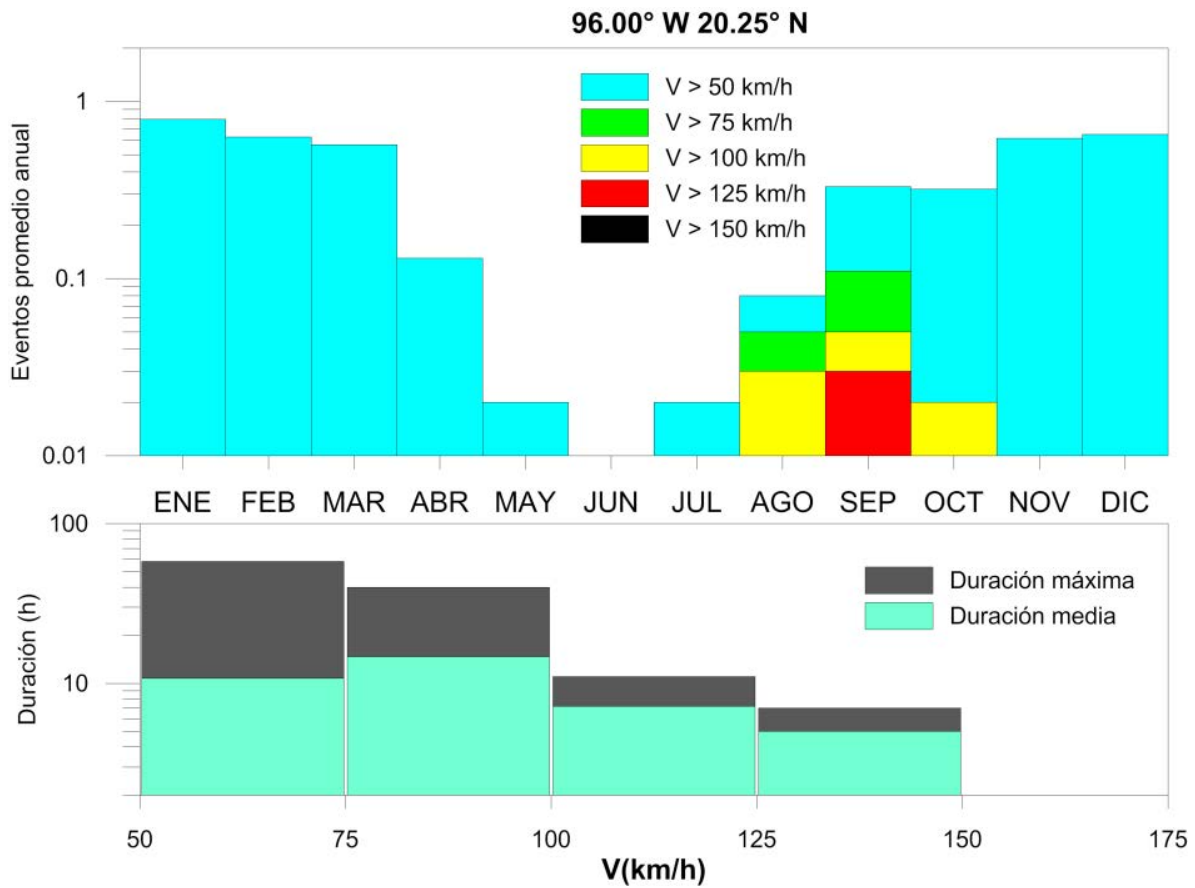


Figura 33. Costa Centro. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la intensidad del viento.

Cuadro 17. Costa Centro. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	96.00°W					20.25°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.54	7.27	8.33	8.90	9.29	9.59	9.82	10.18	10.46	11.28
Enero	4.21	5.21	5.85	6.20	6.44	6.62	6.77	7.00	7.18	7.71
Febrero	3.77	4.89	5.42	5.67	5.82	5.93	6.01	6.13	6.21	6.44
Marzo	3.57	4.64	5.31	5.67	5.93	6.12	6.27	6.51	6.69	7.25
Abril	2.86	3.48	3.76	3.88	3.95	4.00	4.04	4.09	4.13	4.23
Mayo	1.63	2.39	2.72	2.86	2.95	3.00	3.04	3.10	3.14	3.25
Junio	1.22	1.80	2.17	2.37	2.50	2.60	2.69	2.82	2.91	3.21
Julio	0.35	1.76	2.40	2.68	2.85	2.97	3.05	3.18	3.27	3.49
Agosto	0.29	2.80	4.34	5.16	5.72	6.14	6.48	7.00	7.40	8.57
Septiembre	1.97	4.60	6.22	7.10	7.69	8.14	8.50	9.06	9.48	10.74
Octubre	3.10	4.61	5.56	6.07	6.43	6.70	6.92	7.26	7.52	8.30
Noviembre	3.93	5.01	5.67	6.02	6.26	6.44	6.58	6.79	6.96	7.45
Diciembre	4.29	5.40	5.98	6.26	6.44	6.57	6.67	6.82	6.93	7.23

Cuadro 18. Costa Centro. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	96.00°W					20.25°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.54	7.27	8.33	8.90	9.29	9.59	9.82	10.18	10.46	11.28
N	5.37	6.46	7.15	7.53	7.79	7.99	8.15	8.40	8.59	9.18
NNE	4.50	6.02	6.97	7.50	7.86	8.13	8.35	8.69	8.95	9.73
NE	2.63	5.05	6.54	7.35	7.90	8.32	8.65	9.17	9.56	10.73
ENE	1.35	3.40	4.67	5.36	5.83	6.19	6.47	6.91	7.24	8.24
E	-	2.73	4.11	4.71	5.07	5.31	5.49	5.75	5.92	6.37
ESE	0.98	1.30	1.50	1.61	1.69	1.75	1.79	1.86	1.92	2.08
SE	0.86	1.12	1.28	1.37	1.44	1.48	1.52	1.58	1.63	1.76
SSE	0.79	1.00	1.12	1.17	1.21	1.24	1.26	1.29	1.32	1.38
S	0.74	0.97	1.07	1.12	1.14	1.16	1.17	1.19	1.20	1.24
SSW	0.71	0.96	1.08	1.13	1.16	1.19	1.20	1.23	1.24	1.29
SW	0.55	0.91	1.06	1.13	1.16	1.19	1.21	1.24	1.26	1.30
WSE	0.48	0.87	1.04	1.11	1.15	1.18	1.20	1.23	1.25	1.30
W	0.06	1.21	1.73	1.96	2.10	2.20	2.27	2.37	2.44	2.63
WNW	0.34	0.96	1.35	1.56	1.70	1.81	1.90	2.03	2.13	2.44
NW	0.62	1.41	1.74	1.89	1.97	2.03	2.07	2.13	2.17	2.27
NNW	2.41	3.54	4.24	4.62	4.88	5.07	5.23	5.48	5.66	6.22

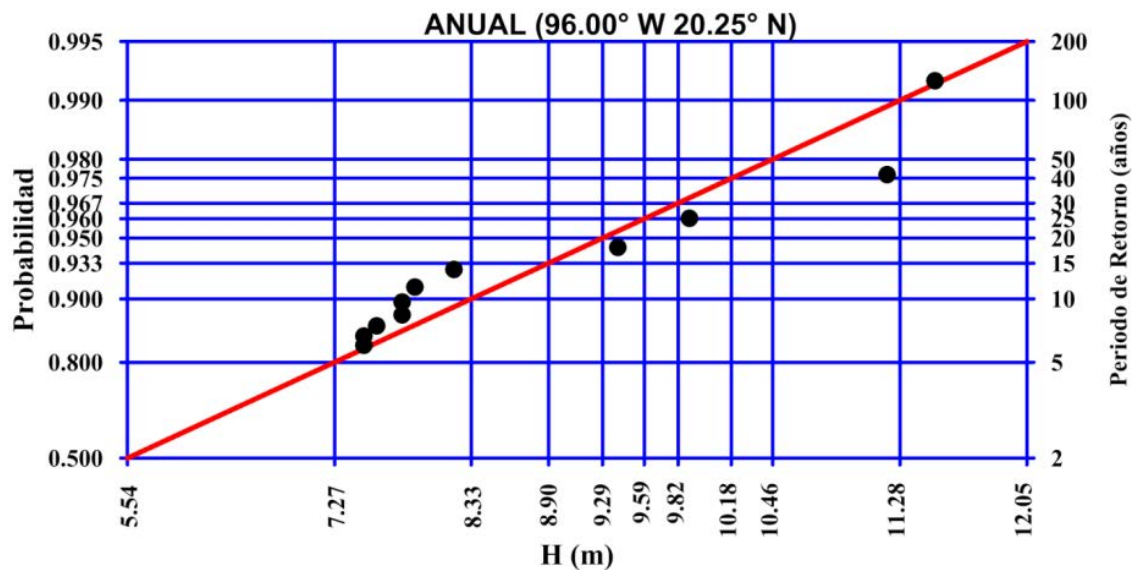


Figura 34. Costa Centro. Periodo de retorno por altura de ola.

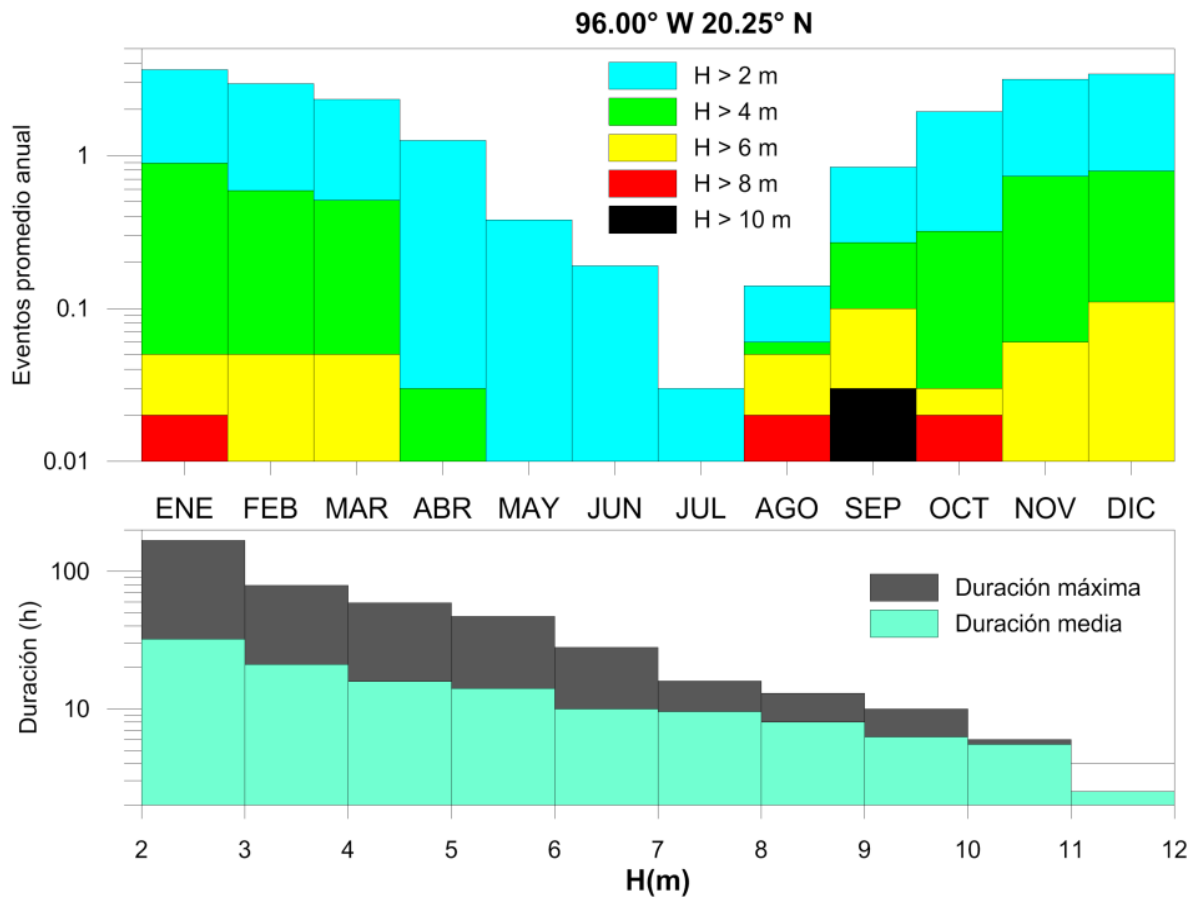


Figura 35. Costa Centro. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según su altura de ola.

- En cuanto al número de eventos medios, durante los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre se presentan los oleajes de tormenta con mayor frecuencia. En cambio, los eventos de mayor intensidad se dan en el mes de septiembre, aunque en los meses de enero, marzo y octubre también se presentan tormentas intensas.

COSTA CENTRO SUR (CCS) DEL MUNICIPIO DE VERACRUZ AL MUNICIPIO ÁNGEL R. CABADA

En la Figura 36 se muestran las rosas de viento y oleaje en periodos anuales y estacionales. Las columnas representan, de izquierda a derecha, las rosas de: velocidades de viento de todo el registro (V), alturas de ola considerando todo el registro (H), alturas de ola que superaron el umbral de 5 m (H extremal) y periodos de oleaje de todo el registro (T).

También en la Figura 36 se presentan, de arriba abajo, las rosas de viento y oleaje correspondientes al análisis: anual y trimestral. Los meses (1-3) corresponden al invierno, (4-6) primavera, (7-9) verano y (10-12) otoño.

En el Cuadro 19 y en el Cuadro 20 se presentan los valores de intensidad de viento versus periodos de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente.

En la Figura 37 se presenta gráficamente el ajuste de extremos de los máximos anuales de la velocidad del viento en la Costa Centro sur. En la Figura 38 se presenta el número de eventos medio anual que superan los umbrales de velocidad de viento para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según su velocidad.

En el Cuadro 21 y en el Cuadro 22 se presentan las alturas de ola por periodo de retorno por mes y por sector, respectivamente. Gráficamente, en la Figura 39 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales. En la Figura 40 se presenta el número medio anual de eventos que superan los umbrales de altura de ola de 2, 4, 6, 8 y 10 m para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según la altura de ola.

De los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

- Los vientos más frecuentes provienen de los sectores NE, NNE y ENE, siendo los más energéticos los que provienen de los sectores N y NNE. En el primer y cuarto trimestre del año son más frecuentes los vientos provenientes del NNE y N, en el segundo trimestre del NE y ENE, mientras que en el tercer trimestre desde el NE.

- En términos de la intensidad de los vientos, para periodos de retorno menores a 2 años los vientos más intensos se presentan en el mes de enero con una incidencia del sector NNW, mientras que para periodos de retorno mayores a 5 años se presentan en septiembre con una incidencia desde N y NE.

- Durante los meses de enero a marzo se presenta el mayor número de tormentas, y en el mes de septiembre los eventos más intensos.

- Los periodos de oleaje medios oscilan entre 6 y 8 s, pudiendo superar los 10 s con eventos que inciden desde N, NNE y NE.

- De los resultados del análisis anual, las alturas de ola más frecuentes provienen del sector NE, sin embargo en términos de intensidad, las que provienen del sector N

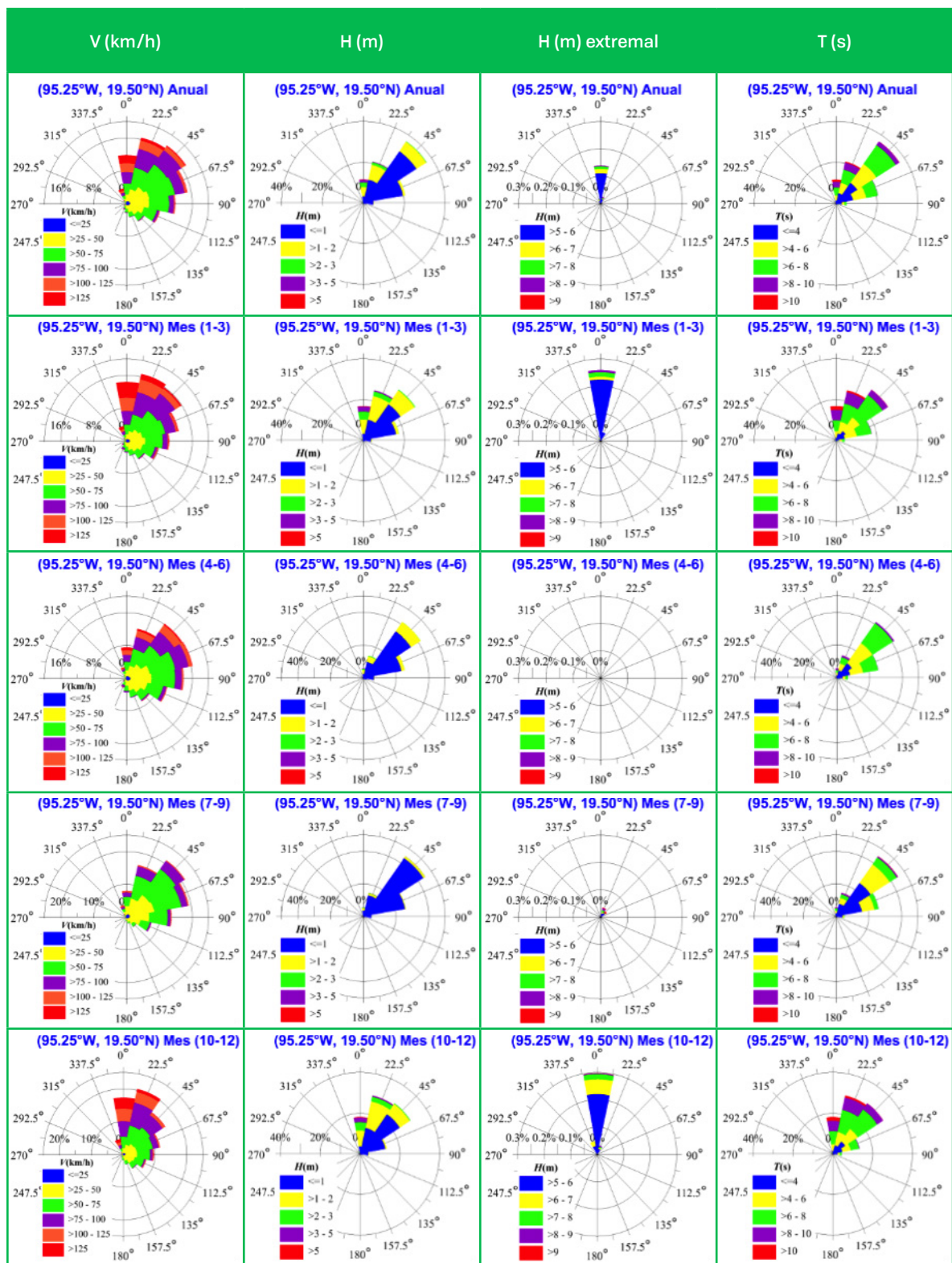


Figura 36. Costa Centro Sur. Rosas de viento y oleaje anual y estacional.

Cuadro 19. Costa Centro Sur. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 95.25°W 19.50°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	48.55	76.71	92.97	101.39	106.99	111.14	114.42	119.39	123.10	133.82
Enero	47.24	51.95	54.94	56.58	57.72	58.58	59.28	60.36	61.19	63.70
Febrero	46.78	51.99	54.59	55.81	56.59	57.14	57.56	58.17	58.61	59.80
Marzo	46.29	52.26	56.09	58.21	59.68	60.80	61.70	63.11	64.20	67.50
Abril	42.54	46.60	48.65	49.62	50.23	50.67	51.00	51.49	51.84	52.79
Mayo	35.42	39.43	41.75	42.95	43.75	44.35	44.81	45.53	46.06	47.59
Junio	27.11	31.93	34.69	36.12	37.06	37.76	38.31	39.15	39.77	41.56
Julio	26.47	31.12	33.41	34.48	35.15	35.62	35.98	36.51	36.88	37.89
Agosto	22.21	37.62	47.24	52.48	56.06	58.78	60.96	64.34	66.91	74.63
Septiembre	4.66	67.36	93.23	104.11	110.49	114.80	117.96	122.38	125.39	132.83
Octubre	35.07	54.90	67.35	74.15	78.81	82.35	85.20	89.61	92.98	103.12
Noviembre	44.37	52.55	57.78	60.67	62.66	64.18	65.41	67.32	68.78	73.23
Diciembre	46.09	51.87	54.95	56.48	57.46	58.17	58.73	59.55	60.15	61.83

Cuadro 20. Costa Centro Sur. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	Viento (km/h) 95.25°W 19.50°N									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	48.55	76.71	92.97	101.39	106.99	111.14	114.42	119.39	123.10	133.82
N	38.72	69.88	84.53	91.21	95.32	98.20	100.37	103.51	105.72	111.52
NNE	39.10	64.82	80.86	89.58	95.55	100.07	103.70	109.32	113.59	126.44
NE	34.27	55.95	69.61	77.07	82.20	86.09	89.23	94.09	97.80	108.99
ENE	30.20	41.51	48.06	51.45	53.71	55.38	56.70	58.71	60.20	64.54
E	26.30	35.73	41.66	44.90	47.13	48.82	50.18	52.29	53.90	58.75
ESE	22.77	30.30	34.35	36.36	37.66	38.60	39.34	40.43	41.24	43.48
SE	23.96	28.20	30.91	32.40	33.42	34.21	34.84	35.82	36.58	38.86
SSE	23.55	28.34	31.39	33.08	34.24	35.13	35.84	36.96	37.81	40.40
S	24.31	30.15	33.77	35.73	37.06	38.08	38.89	40.14	41.09	43.95
SSW	23.06	30.98	35.58	37.98	39.58	40.76	41.70	43.13	44.19	47.28
SW	18.75	28.79	33.47	35.59	36.89	37.80	38.48	39.47	40.16	41.97
WSE	18.32	25.75	30.13	32.44	33.98	35.13	36.04	37.43	38.47	41.52
W	14.75	27.06	32.01	34.06	35.25	36.05	36.63	37.44	37.99	39.32
WNW	14.72	30.15	36.23	38.71	40.14	41.09	41.78	42.74	43.38	44.94
NW	24.19	37.04	41.94	43.03	45.03	45.77	46.31	47.05	47.54	48.71
NNW	47.97	55.61	60.15	62.55	64.15	65.35	66.31	67.77	68.86	72.07

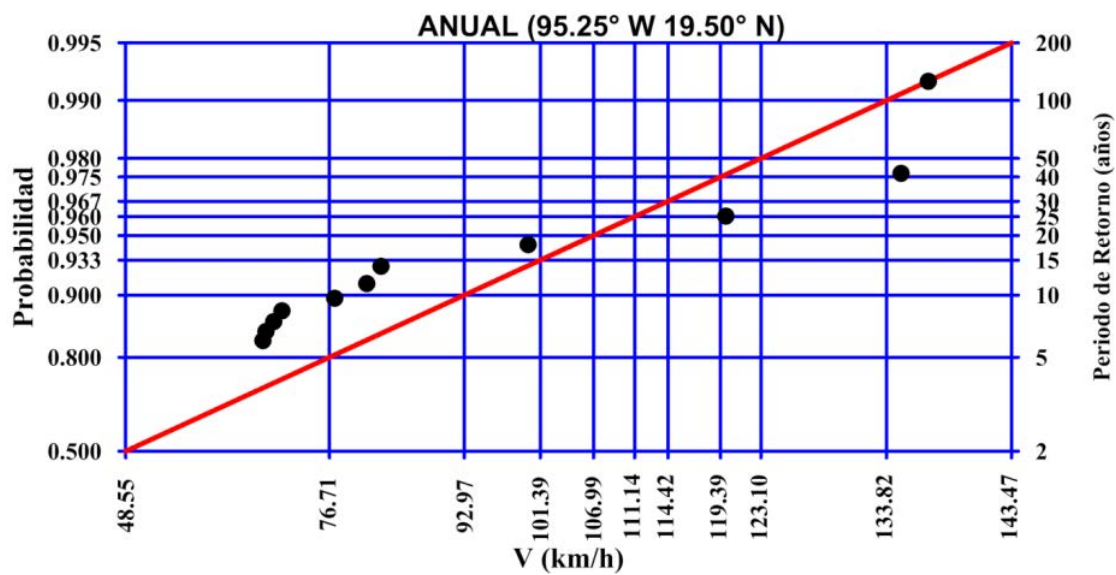


Figura 37. Costa Centro Sur. Período de retorno por velocidad de viento.

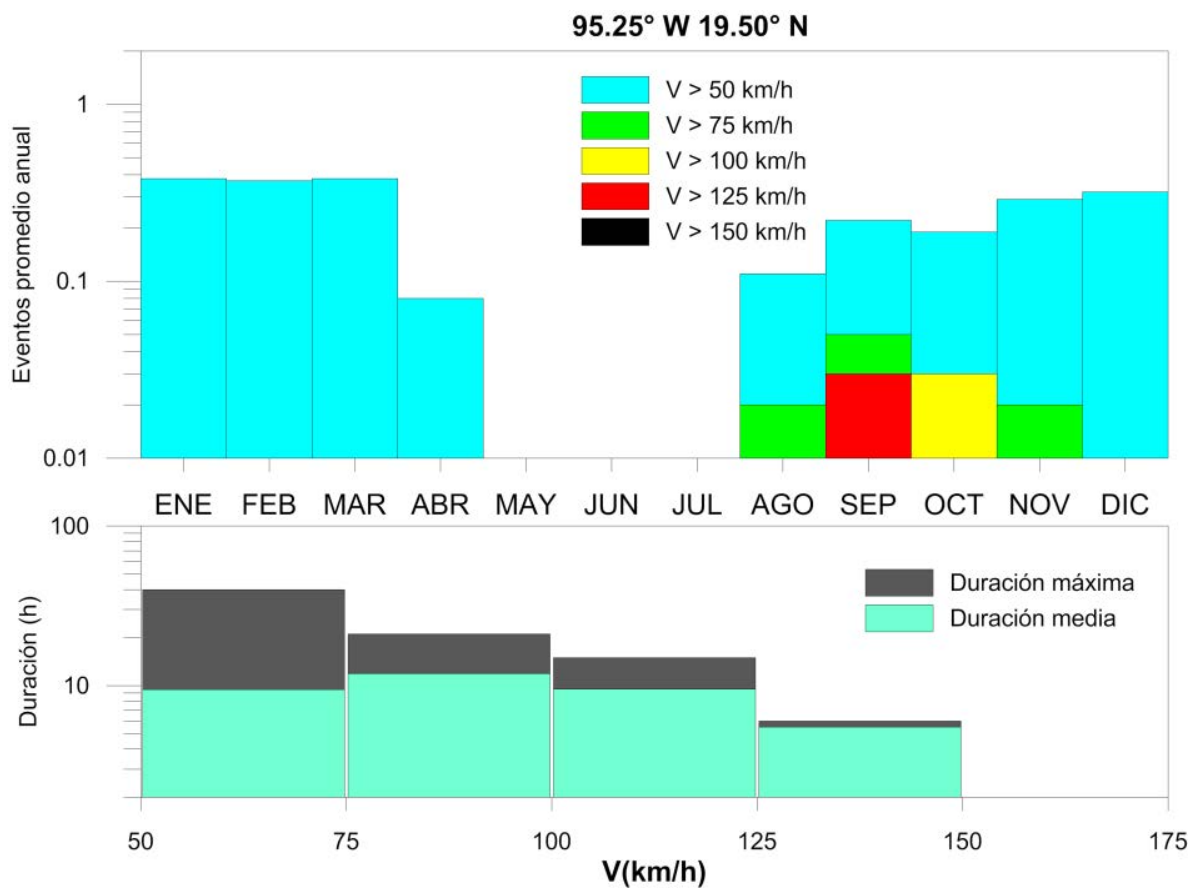


Figura 38. Costa Centro Sur. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la intensidad del viento.

Cuadro 21. Costa Centro Sur. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	95.25°W					19.50°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.48	6.96	7.89	8.40	8.75	9.02	9.24	9.57	9.83	10.61
Enero	4.08	5.15	5.83	6.20	6.45	6.65	6.81	7.05	7.24	7.80
Febrero	3.72	4.89	5.44	5.69	5.84	5.95	6.03	6.14	6.23	6.44
Marzo	3.51	4.67	5.40	5.81	6.08	6.29	6.46	6.72	6.92	7.53
Abril	2.84	3.44	3.71	3.83	3.91	3.96	4.00	4.05	4.09	4.19
Mayo	1.59	2.25	2.55	2.68	2.76	2.82	2.86	2.92	2.96	3.07
Junio	1.07	1.58	1.89	2.06	2.17	2.25	2.32	2.42	2.50	2.73
Julio	0.97	1.29	1.49	1.60	1.68	1.74	1.79	1.86	1.91	2.08
Agosto	0.64	2.14	3.04	3.51	3.83	4.07	4.26	4.55	4.76	5.40
Septiembre	1.58	4.01	5.52	6.33	6.89	7.31	7.65	8.17	8.57	9.76
Octubre	2.95	4.59	5.61	6.16	6.54	6.83	7.06	7.42	7.69	8.52
Noviembre	3.86	5.07	5.77	6.14	6.38	6.56	6.71	6.92	7.08	7.55
Diciembre	4.16	5.43	6.05	6.33	6.51	6.63	6.73	6.87	6.97	7.23

Cuadro 22. Costa Centro Sur. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	95.25°W					19.50°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	5.48	6.96	7.89	8.40	8.75	9.02	9.24	9.57	9.83	10.61
N	5.44	6.48	7.13	7.48	7.72	7.90	8.05	8.28	8.45	8.97
NNE	3.87	5.68	6.81	7.43	7.85	8.18	8.44	8.84	9.14	10.06
NE	2.29	3.98	5.04	5.62	6.02	6.32	6.57	6.94	7.23	8.10
ENE	1.07	2.18	2.87	3.25	3.50	3.69	3.85	4.08	4.26	4.80
E	0.64	1.71	2.37	2.73	2.97	3.16	3.30	3.53	3.70	4.22
ESE	0.72	1.11	1.35	1.48	1.57	1.64	1.70	1.78	1.85	2.04
SE	0.57	1.03	1.23	1.32	1.38	1.41	1.44	1.48	1.50	1.57
SSE	0.68	0.89	0.98	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08	1.10	1.13
S	0.68	0.91	1.01	1.06	1.09	1.11	1.12	1.14	1.16	1.20
SSW	0.64	0.93	1.05	1.10	1.13	1.15	1.17	1.19	1.20	1.24
SW	0.59	0.83	0.95	1.01	1.04	1.07	1.08	1.11	1.13	1.18
WSE	-	1.16	1.68	1.91	2.05	2.14	2.21	2.32	2.39	2.56
W	0.37	0.78	1.03	1.17	1.26	1.34	1.39	1.48	1.55	1.75
WNW	0.35	0.81	1.06	1.19	1.27	1.33	1.37	1.44	1.49	1.64
NW	0.65	1.10	1.33	1.45	1.52	1.58	1.62	1.69	1.73	1.86
NNW	3.54	5.09	5.77	6.07	6.25	6.38	6.47	6.60	6.69	6.92

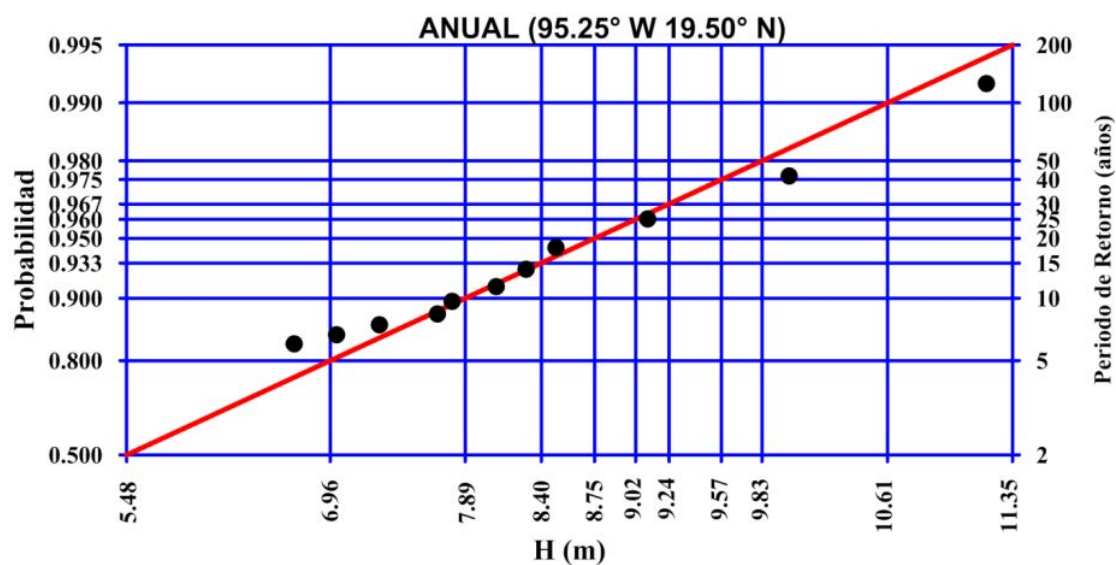


Figura 39. Costa Centro Sur. Período de retorno por altura de ola.

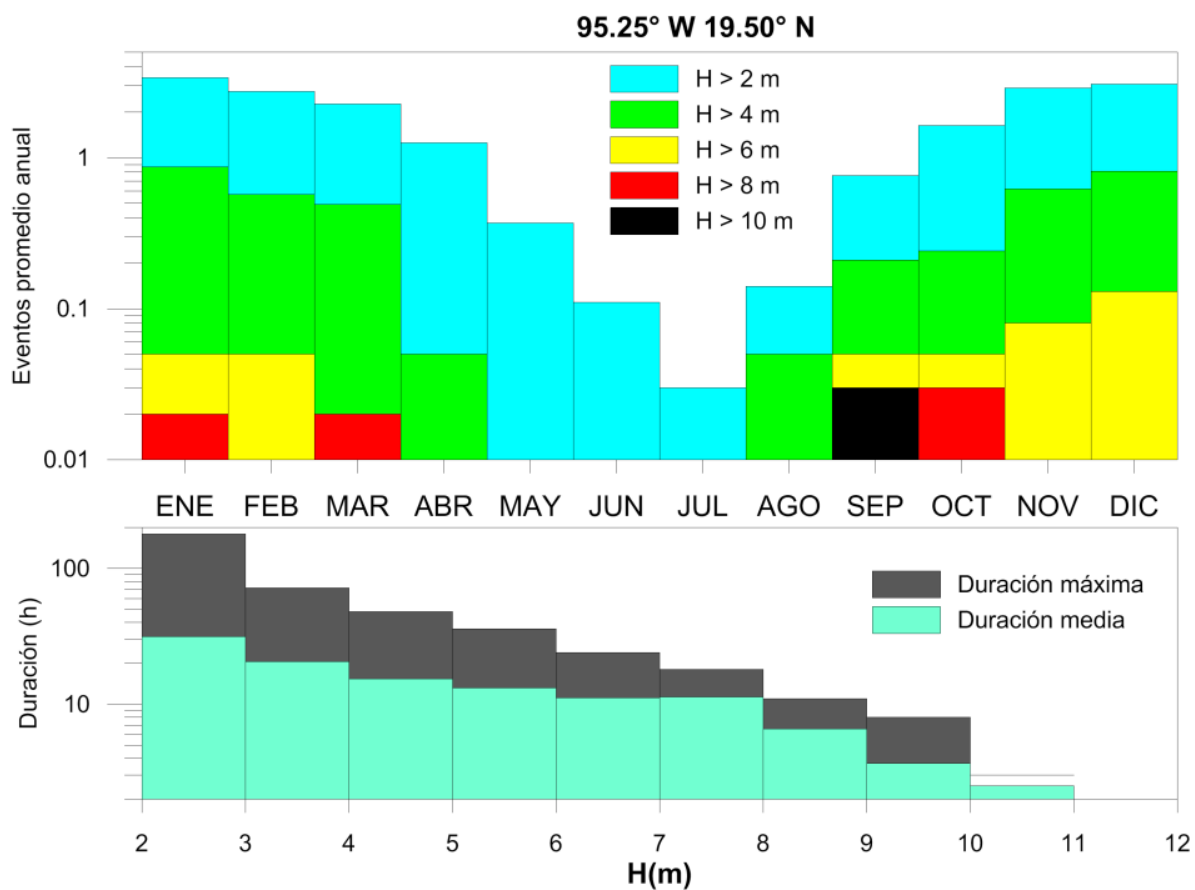


Figura 40. Costa Centro Sur. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según su altura de ola.

tienen mayor energía. En el primer y cuarto trimestre del año, en términos de porcentaje, las alturas de ola más altas provienen del N, durante el segundo trimestre propiamente es una época de calmas y en el tercer trimestre inciden desde el NE.

- Respecto de la altura de ola, para periodos de retorno menores a 15 años los oleajes más intensos se presentan durante el mes de enero con una incidencia del sector Norte, mientras que para periodos de retorno mayores a 15 años se presentan en septiembre con una incidencia desde el Norte.

- En cuanto al número de eventos medios, durante los meses de enero, noviembre y diciembre se presentan los oleajes de tormenta con mayor frecuencia, sin embargo, los eventos de mayor intensidad ocurren en el mes de septiembre, aunque en los meses de enero, agosto y octubre también se presentan tormentas intensas.

COSTA SUR (CSU) DEL MUNICIPIO DE SAN ANDRÉS TUXTLA AL MUNICIPIO DE AGUA DULCE

En la Figura 41 se presentan las rosas de viento y oleaje en periodos anuales y estacionales. Las columnas representan, de izquierda a derecha, las rosas de: velocidades de viento de todo el registro (V), alturas de ola considerando todo el registro (H), alturas de ola que superaron el umbral de 5 m (H extremal) y periodos de oleaje de todo el registro (T). En la misma figura se presentan, de arriba a abajo, las rosas correspondientes al análisis: anual y trimestral. Los meses (1-3) corresponden al invierno, (4-6) primavera, (7-9) verano y (10-12) otoño.

En el Cuadro 23 y en el Cuadro 24 se presentan los valores de intensidad de viento por periodos de retorno para cada mes del año y cada sector de incidencia, respectivamente. En la Figura 42 se presenta gráficamente el ajuste de extremos de los máximos anuales. En la Figura 43 se presenta el número de eventos medio anual que superan los umbrales de velocidad de viento para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según su velocidad.

En el Cuadro 25 y en el Cuadro 26 se presentan las alturas de ola *versus* periodo de retorno por mes y por sector, respectivamente. Gráficamente, en la Figura 44 se presenta el resultado de dicho ajuste considerando los máximos anuales. En la Figura 45 se presenta el número medio anual de eventos que superan los umbrales de altura de ola de 2, 4, 6, 8 y 10 m para cada uno de los meses del año, así como la duración media y máxima de los eventos según la altura de ola.

De los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

- Los vientos más frecuentes provienen de los sectores NNE y NE, mientras que los más energéticos provienen del N y NNE. En el primer y cuarto trimestre son más frecuentes los vientos del NNE, NE y N, en el segundo trimestre del NE, NNE y ENE; y en el tercer trimestre desde el NE.

- Los vientos más intensos son en el mes de enero con una incidencia del sector NNW para periodos de retorno menores a 2 años. En periodos de retorno mayores a 5 años suceden en septiembre con una incidencia desde el sector NNE.

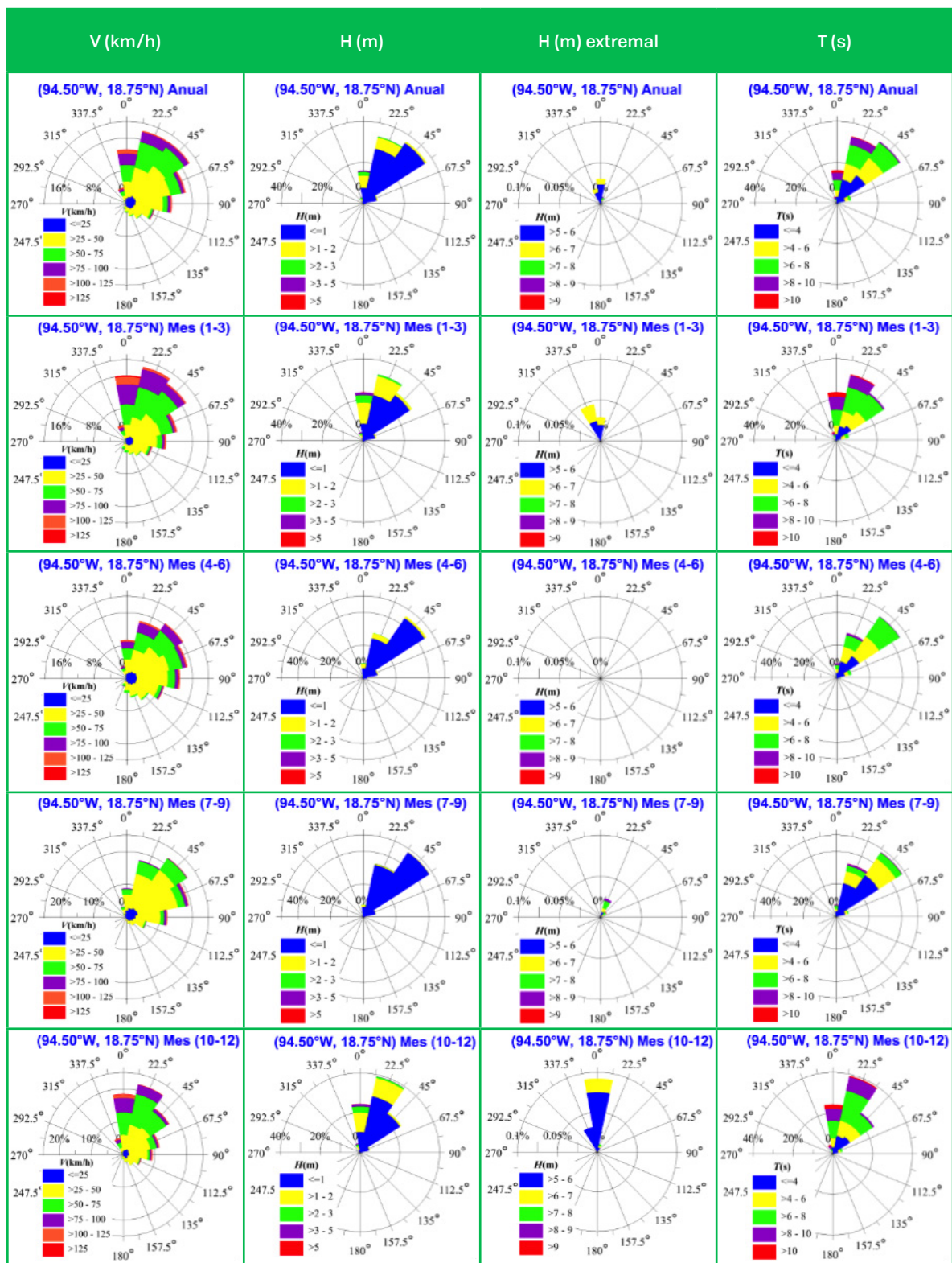


Figura 41. Costa Sur. Rosas de viento y oleaje anual y estacional.

Cuadro 23. Costa Sur. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

Viento (km/h) 94.50°W 18.75°N										
TR (años)	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	33.32	65.94	81.21	88.16	92.43	95.42	97.67	100.92	103.21	109.20
Enero	34.13	38.22	40.30	41.29	41.92	42.36	42.71	43.21	43.58	44.56
Febrero	33.47	38.23	40.57	41.67	42.36	42.85	43.22	43.77	44.15	45.20
Marzo	33.80	38.90	42.14	43.93	45.16	46.10	46.85	48.03	48.93	51.66
Abril	31.96	35.42	37.18	38.02	38.55	38.93	39.22	39.66	39.97	40.81
Mayo	27.48	30.72	32.80	33.96	34.75	35.36	35.86	36.63	37.21	39.01
Junio	19.59	24.79	28.08	29.88	31.13	32.07	32.83	34.02	34.92	37.66
Julio	18.01	25.53	28.91	30.41	31.32	31.95	32.42	33.09	33.55	34.75
Agosto	14.92	31.78	42.29	47.99	51.89	54.85	57.22	60.89	63.68	72.05
Septiembre	14.37	40.99	57.34	66.14	72.13	76.65	80.27	85.84	90.07	102.66
Octubre	21.40	42.10	54.99	61.98	66.77	70.39	73.30	77.80	81.21	91.48
Noviembre	24.39	41.24	49.34	53.08	55.41	57.05	58.29	60.09	61.37	64.77
Diciembre	32.14	37.21	40.07	41.54	42.51	43.22	43.78	44.63	45.26	47.06

Cuadro 24. Costa Sur. Velocidad de viento para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

Viento (km/h) 94.50°W 18.75°N										
TR (años)	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	33.32	65.94	81.21	88.16	92.43	95.42	97.67	100.92	103.21	109.20
N	33.85	49.10	58.61	63.79	67.34	70.02	72.18	75.52	78.07	85.71
NNE	18.89	61.65	79.13	86.44	90.71	93.59	95.70	98.64	100.63	105.55
NE	4.04	49.27	69.19	77.91	83.15	86.75	89.44	93.25	95.89	102.61
ENE	18.62	28.24	33.62	36.36	38.16	39.48	40.51	42.07	43.23	46.51
E	15.37	23.40	28.41	31.14	33.00	34.42	35.56	37.32	38.66	42.68
ESE	14.82	21.01	24.82	26.87	28.27	29.32	30.17	31.47	32.46	35.41
SE	16.15	20.41	23.12	24.60	25.62	26.39	27.02	27.99	28.73	30.98
SSE	16.58	19.52	20.90	21.53	21.91	22.18	22.39	22.68	22.89	23.44
S	16.34	21.73	24.43	25.71	26.51	27.09	27.53	28.17	28.63	29.88
SSW	15.86	21.79	24.89	26.40	27.37	28.06	28.60	29.40	29.97	31.57
SW	12.01	21.28	25.19	26.86	27.85	28.52	29.02	29.71	30.19	31.38
WSE	9.18	18.45	22.93	25.01	26.30	27.21	27.90	28.90	29.61	31.50
W	6.92	18.83	23.67	25.69	26.86	27.65	28.23	29.04	29.58	30.92
WNW	6.86	20.53	26.26	28.69	30.12	31.09	31.80	32.80	33.49	35.19
NW	18.69	28.06	32.64	34.78	36.11	37.05	37.77	38.82	39.56	41.55
NNW	36.10	43.67	48.45	51.07	52.87	54.24	55.34	57.05	58.36	62.30

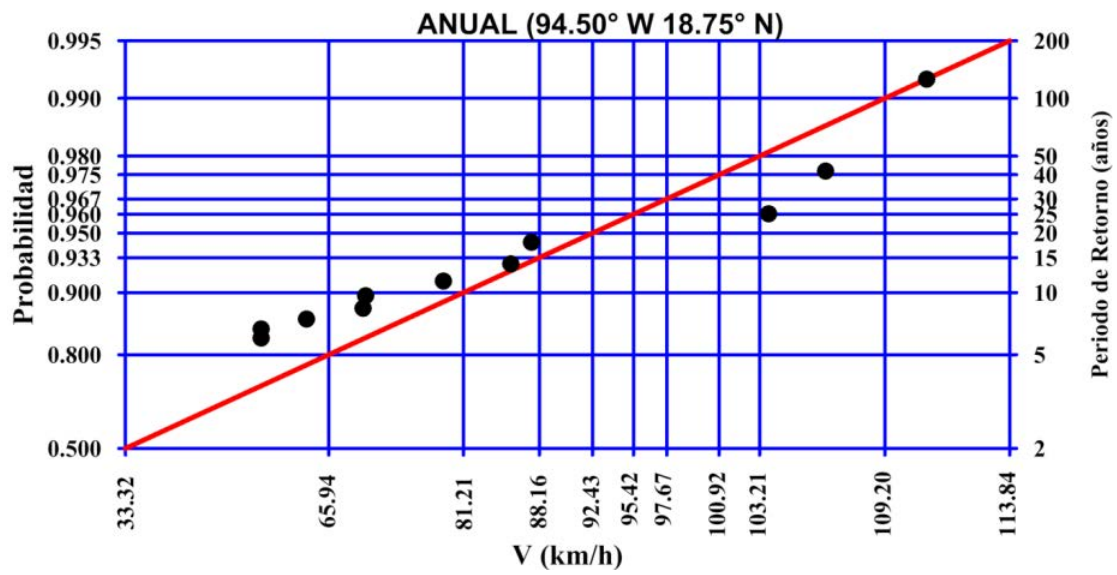


Figura 42. Costa Sur. Periodo de retorno versus velocidad de viento.

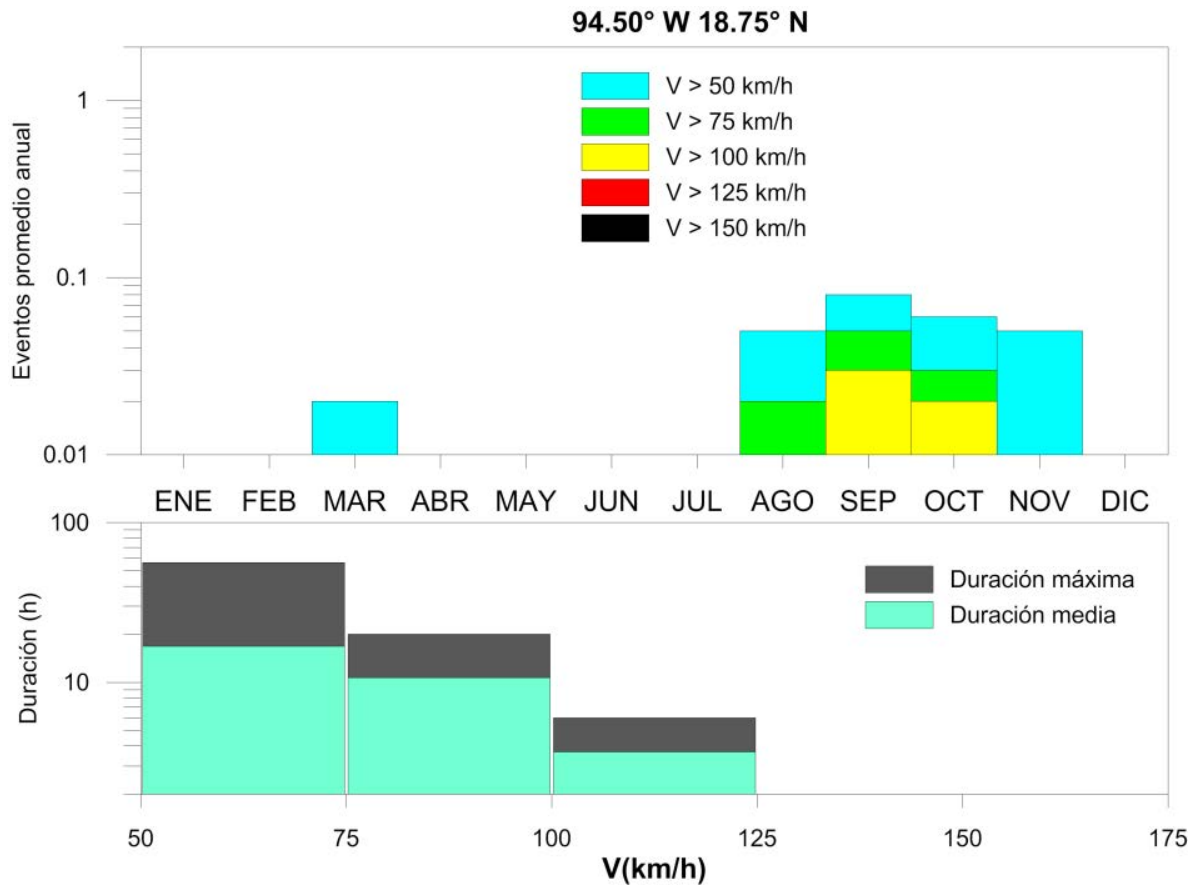


Figura 43. Costa Sur. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según la intensidad del viento.

Cuadro 25. Costa Sur. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada mes del año. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	94.50°W					18.75°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	4.73	5.94	6.71	7.14	7.43	7.65	7.83	8.10	8.31	8.95
Enero	3.48	4.33	4.87	5.17	5.37	5.53	5.65	5.85	5.99	6.44
Febrero	3.14	4.19	4.68	4.90	5.03	5.13	5.20	5.30	5.37	5.55
Marzo	3.08	4.00	4.58	4.90	5.11	5.28	5.41	5.62	5.77	6.25
Abril	2.38	2.88	3.11	3.22	3.28	3.33	3.36	3.41	3.44	3.54
Mayo	1.32	1.90	2.15	2.26	2.32	2.36	2.39	2.44	2.47	2.55
Junio	0.86	1.31	1.59	1.74	1.85	1.93	1.99	2.09	2.16	2.39
Julio	0.41	1.28	1.68	1.86	1.97	2.04	2.10	2.18	2.24	2.39
Agosto	0.22	2.12	3.29	3.93	4.36	4.69	4.95	5.35	5.66	6.58
Septiembre	1.18	3.25	4.53	5.23	5.70	6.06	6.35	6.79	7.13	8.14
Octubre	2.47	3.89	4.77	5.25	5.58	5.83	6.03	6.34	6.57	7.28
Noviembre	3.28	4.31	4.90	5.21	5.41	5.56	5.68	5.86	6.00	6.38
Diciembre	3.54	4.53	5.05	5.30	5.45	5.57	5.66	5.79	5.88	6.14

Cuadro 26. Costa Sur. Altura de ola para diferentes periodos de retorno (TR) y para cada dirección de incidencia. En colores se destacan los valores máximos y mínimos para los diferentes TR.

TR (años)	H (m)									
	94.50°W					18.75°N				
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	100
Anual	4.73	5.94	6.71	7.14	7.43	7.65	7.83	8.10	8.31	8.95
N	4.55	5.47	5.92	6.12	6.25	6.34	6.41	6.51	6.58	6.77
NNE	2.11	5.18	6.42	6.93	7.23	7.43	7.57	7.78	7.91	8.25
NE	-	3.50	5.45	6.29	6.80	7.14	7.40	7.76	8.01	8.63
ENE	0.66	1.38	1.82	2.06	2.23	2.35	2.45	2.61	2.72	3.07
E	0.60	0.97	1.21	1.34	1.43	1.49	1.55	1.63	1.69	1.88
ESE	0.52	0.75	0.90	0.98	1.03	1.08	1.11	1.16	1.20	1.32
SE	0.48	0.73	0.85	0.91	0.94	0.97	0.98	1.01	1.03	1.08
SSE	0.47	0.62	0.71	0.76	0.80	0.82	0.84	0.88	0.90	0.98
S	0.43	0.59	0.69	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.98
SSW	0.41	0.58	0.69	0.75	0.79	0.82	0.84	0.88	0.91	1.00
SW	0.33	0.55	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.80
WSE	-	0.82	1.30	1.51	1.63	1.72	1.78	1.87	1.94	2.09
W	0.14	0.46	0.66	0.76	0.84	0.89	0.94	1.01	1.06	1.21
WNW	0.17	0.49	0.61	0.66	0.69	0.72	0.73	0.75	0.77	0.80
NW	0.38	0.72	0.93	1.05	1.12	1.18	1.23	1.30	1.36	1.53
NNW	4.03	5.03	5.55	5.80	5.95	6.07	6.15	6.28	6.37	6.63

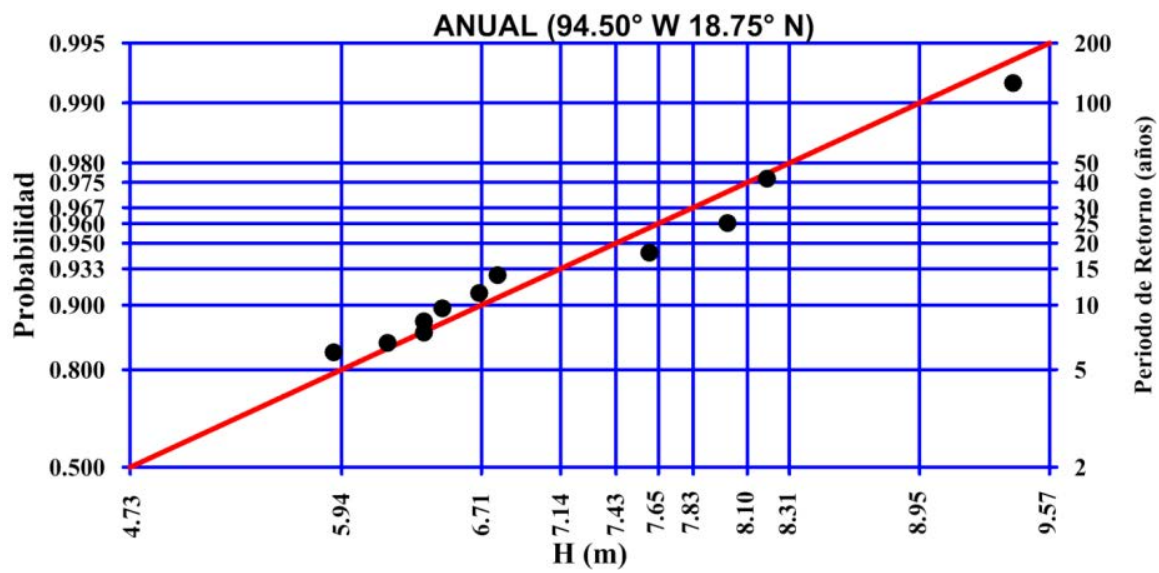


Figura 44. Costa Sur. Período de retorno versus altura de ola.

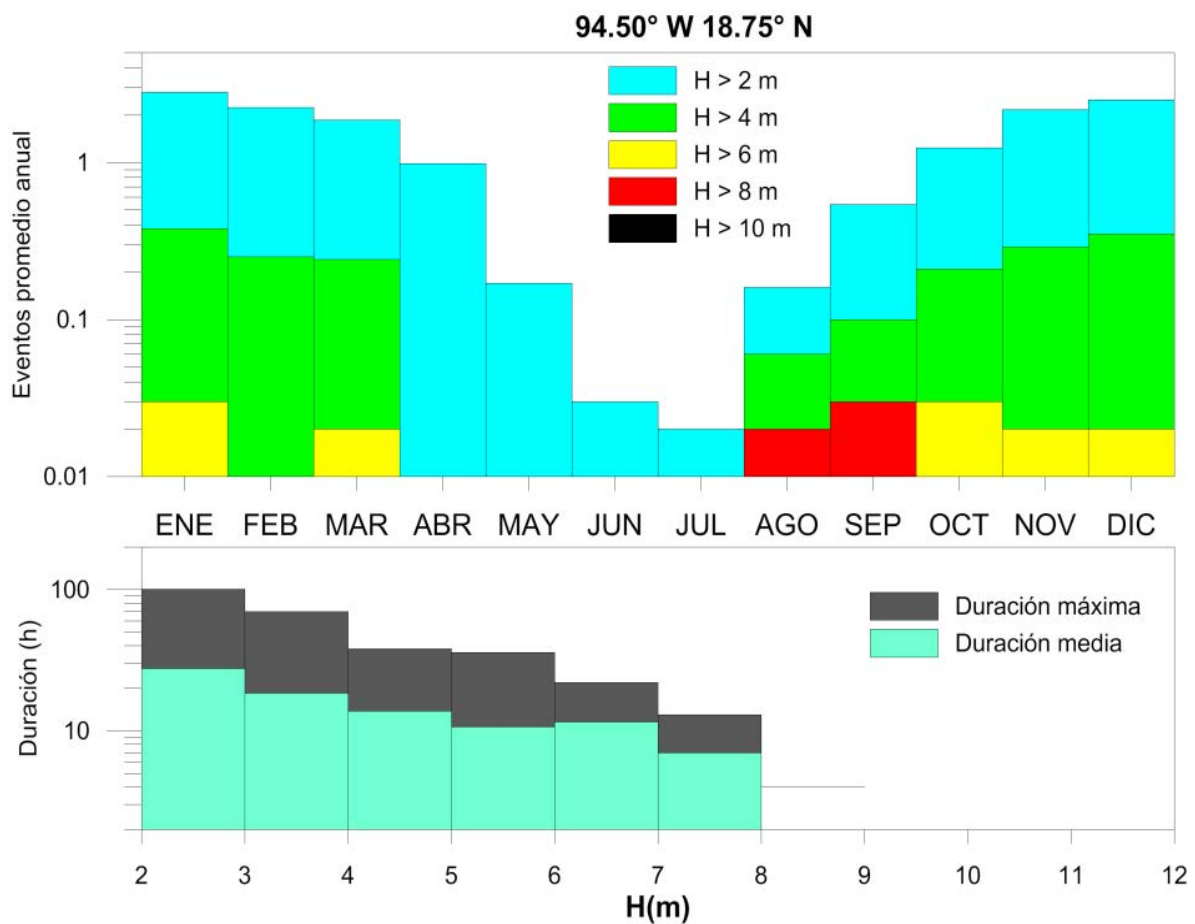


Figura 45. Costa Sur. Número de eventos promedio mensuales y duración de las tormentas según su altura de ola.

- Durante los meses de agosto a noviembre se presenta el mayor número de tormentas, siendo que los eventos de mayor intensidad se presentan en el mes de septiembre.

- Los periodos de oleaje medios oscilan entre 6 y 8 s, pudiendo superar los 10 s con eventos que inciden desde los sectores N y NNE.

- De los resultados del análisis anual, las alturas de ola más frecuentes provienen de los sectores NNE y ENE, sin embargo en términos de intensidad, las que provienen del sector N tienen mayor energía.

- En el primer y cuarto trimestre del año, en términos de porcentaje, las alturas de ola más altas provienen del N, durante el segundo trimestre propiamente es una época de calmas y en el tercer trimestre inciden desde el NE.

- Respecto de la altura de ola, para periodos de retorno menores a 15 años

los oleajes más intensos se presentan durante el mes de diciembre con una incidencia de los sectores N y NNE, mientras que para periodos de retorno mayores a 15 años se presentan en septiembre con una incidencia desde los sectores NNE y NE.

- En cuanto al número de eventos medios, durante los meses de enero-febrero y noviembre-diciembre se presentan los oleajes de tormenta con mayor frecuencia, sin embargo, los eventos de mayor intensidad ocurren en los meses de agosto-septiembre.

Como consecuencia de lo anterior, se puede afirmar que, a corto plazo (menos de 5 años), la dinámica sedimentaria de la costa de Veracruz está determinada por los Nortes, a largo plazo, la costa responde a eventos extremos como huracanes y que la orientación de la costa juega un papel importante en la formación de los sistemas de dunas.



Imagen satelital del Huracán Katia (izquierda) entrando en la costa de Veracruz, el Huracán Irma (centro) acercándose a Cuba, y el Huracán José alcanzando su máximo pico de intensidad el 8 de septiembre del 2017. Fotografía: NOAA View Global Data Explorer.

MAREAS DE TORMENTA Y ASCENSO MÁXIMO DEL OLEAJE

Para evaluar los niveles de potencial de inundación se utilizaron los siguientes modelos:

- Incremento del nivel del mar que se genera por el gradiente de presiones atmosférico con eventos ciclónicos, que tienen menor presión en el centro del sistema y mayor a medida que la distancia es mayor de este punto (efecto del barómetro inverso): Silva *et al.* (2002); Posada *et al.* (2007, 2008 y 2013); Ruiz *et al.* (2009) y Trifonova *et al.* (2014).

- Apilamiento de agua sobre la costa asociada al efecto del viento (marea meteorológica): Silva *et al.* (2002).

Remonte o ascenso máximo del oleaje sobre las playas (*runup*): Stockdon *et al.* (2006).

- La base de datos utilizada es la misma que se describió en los apartados anteriores, ésta cuenta con registros históricos (1948-2010) del clima marítimo de la zona con mediciones cada hora y ha sido procesada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos.

En la Figura 46 se presentan, para 19 sitios ubicados a lo largo del litoral veracruzano, los niveles de inundación esperada para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 100 años) asociados a los efectos de gradiente de presiones atmosféricas (panel superior), apilamiento por viento (segundo panel) y ascenso máximo del oleaje (tercer panel) y el efecto combinado de los tres fenómenos (cuarto panel) al propagarse sobre la costa. Los niveles están dados con referencia al NMM.



Oleaje de tormenta después del Huracán Ike en el Golfo de México. Fotografía: Jocelyn Augustino de FEMA (Federal Emergency Management Agency).

En los paneles inferiores se indican gráficamente los sitios, a lo largo de la costa de Veracruz, en los cuales fue calculado el nivel de sobreelevación.

Para el cálculo de los valores de los niveles de sobreelevación por periodo de retorno (indicado con diferentes colores) se utilizó una distribución de valores extremos tipo Weibull, para ello se consideraron los niveles máximos de todos los eventos de manera anual. Como puede observarse, el oleaje es el fenómeno que mayor nivel de inundación genera, con la característica que su ascenso y descenso es del orden de segundos que se producen durante una tormenta que puede durar desde unas cuantas horas hasta varios días, mientras que el viento y el gradiente de presiones atmosféricas generan inundaciones de más larga duración (del orden de horas), aunque su nivel de sobreelevación es menor.

De los resultados se puede destacar que el valor de inundación tiene una dependencia de la ubicación geográfica, orientación de la costa y pendiente de la playa. En términos generales, los valores de inundación esperados son mayores en el norte del estado si se comparan con los valores calculados para el resto del litoral, siendo los menores en el sur. |

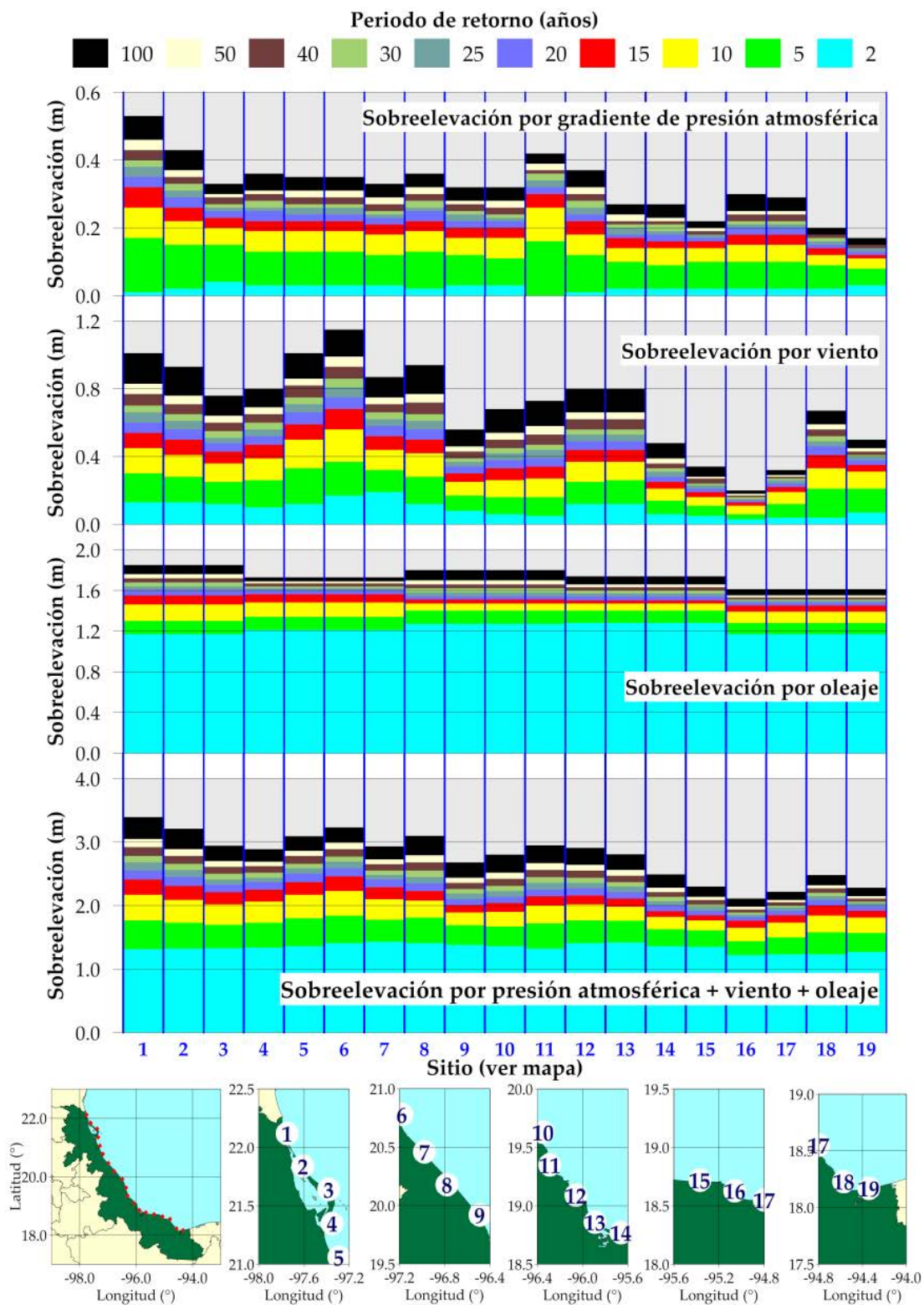


Figura 46. Sobreelevación costera por efectos meteorológicos y marino en el litoral costero de Veracruz para diferentes periodos de retorno.

I Capítulo 3.

CARACTERIZACIÓN BIÓTICA

I HUMEDALES

Los humedales ocurren en la zona de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres. En ellos, el manto freático se encuentra a muy poca profundidad. Los suelos de los humedales están poco drenados y en algún momento del año se saturan e inundan con agua poco profunda (Moreno-Casasola et al., 2011a). Los humedales conjuntan una gran variedad de comunidades vegetales con distinta estructura, composición y forma de vida. Así, los humedales incluyen ecosistemas como los manglares, marismas, selvas inundables y vegetación ribereña, comunidades con vegetación flotante, tulares, popales, carrizales y palmares entre otros (Moreno-Casasola et al., 2011a) con diferente composición florística y estructura.

Las especies de los humedales casi siempre requieren de un periodo de inundación para completar su ciclo de vida. También existen especies que son tolerantes a las inundaciones. En conjunto, los humedales han sido poco estudiados y se conoce muy poco sobre su diversidad biológica. Sin embargo, se sabe que concentran una alta riqueza de especies de la flora (más de 1,600 especies) y la fauna Veracruzana. La riqueza de especies varía de acuerdo con los diferentes tipos de humedal, tal y como se muestra en el Cuadro 27. Los humedales con mayor riqueza de especies son la vegetación ribereña, los bosques tropicales, la vegetación acuática y los tulares-popales.

Únicamente el 2% de las especies registradas en los humedales (23 especies) están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010). De éstas, 13 se consideran amenazadas, 8 están sujetas a protección especial, y dos están en peligro de extinción (*Ceratozamia miqueliana* – *Zamiaceae*, y *Ormosia isthmensis* – *Leguminosae*). Otra especie amenazada es el nenúfar amarillo *Nuphar lutea*. La orquídea *Laelia anceps* subsp. *dawsonii* está incluida en la NOM-059-2010 bajo la categoría en peligro de extinción.



Otras especies amenazadas son las especies arbóreas del manglar como son el mangle botoncillo o mangle Zaragoza (*Conocarpus erectus*), el mangle blanco o mangle amarillo (*Laguncularia racemosa*), el mangle rojo o mangle tinto (*Rhizophora mangle*) y el mangle negro o mangle prieto (*Avicennia germinans*). Gracias a esto en México existen leyes específicas para la protección del manglar (Moreno-Casasola *et al.*, 2011a).

Las especies de mangle se usan como combustible, la madera se aprovecha para la construcción de postes, cercas, muebles, entre otros. También se conocen usos medicinales. Por ejemplo, el mangle blanco se ha utilizado en la medicina tradicional como astringente, contra la disentería, para controlar la fiebre y el escorbuto (CONABIO, 2011).

Cuadro 27. Número de especies registradas para cada tipo de humedal (tomado de Moreno-Casasola *et al.*, 2011a).

Tipo de humedal	Número de especies	Porcentaje
Vegetación ribereña	1,010	38
Bosque tropical perennifolio	564	21
Bosque tropical caducifolio	242	9
Vegetación acuática	208	8
Tular-popal	199	7
Selva inundable	153	6
Pastizal	116	4
Manglar	96	4
Potrero inundable	57	2
Palmar inundable	26	1
Playa	8	0.5
Hondonada de duna	6	0.2



Nuphar lutea. Fotografía: Anglia, CC2.0 Germany

I MANGLARES

En el estado de Veracruz, la distribución de los manglares está asociada a la presencia de lagunas costeras y estuarios.

Se han descrito tres asociaciones de manglar: 1) monoespecíficos de *Avicennia germinans* (mangle negro) asociados a las planicies lodosas; 2) monoespecíficos de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) en franjas ubicadas en las orillas de lagunas, ríos, esteros, entre otros, y; 3) mixtos, donde se presentan las tres especies de manglar (*A. germinans*, *R. mangle* y *Laguncularia racemosa*—mangle blanco).

En los suelos arenosos y ligeramente más elevados se desarrollan bandas de *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo (López-Portillo *et al.*, 2011).

Los bosques de manglar se distribuyen de manera discontinua a lo largo del estado, en alrededor de 800 fragmentos y cubren una superficie de 43,194 ha. De éstas, se estima una proporción significativa de manglar se encuentra perturbada pero con capacidad de recuperarse.

Las zonas con mayor superficie de manglar se ubican en planicies fluviales amplias y con lagunas internas y elevada descarga de agua dulce y protegidas por cordones de dunas.

La mayor extensión de manglares se localiza en la cuenca del río Papaloapan (centro del estado). Este río descarga alrededor de 42 884 millones de metros cúbicos de agua. El segundo sistema de manglar en importancia se localiza en el complejo lagunar de Alvarado (centro del estado); el tercer lugar lo ocupa el sistema de manglar de la laguna de Tamiahua y el cuarto lugar el estuario del río Tuxpan.



Manglar en Tecolutla. Fotografía: Adam Jones, Creative Commons 2.0



Manglar fragmentado por avance de la frontera agropecuaria en Veracruz. Fotografía: Gerardo Sánchez-Vigil

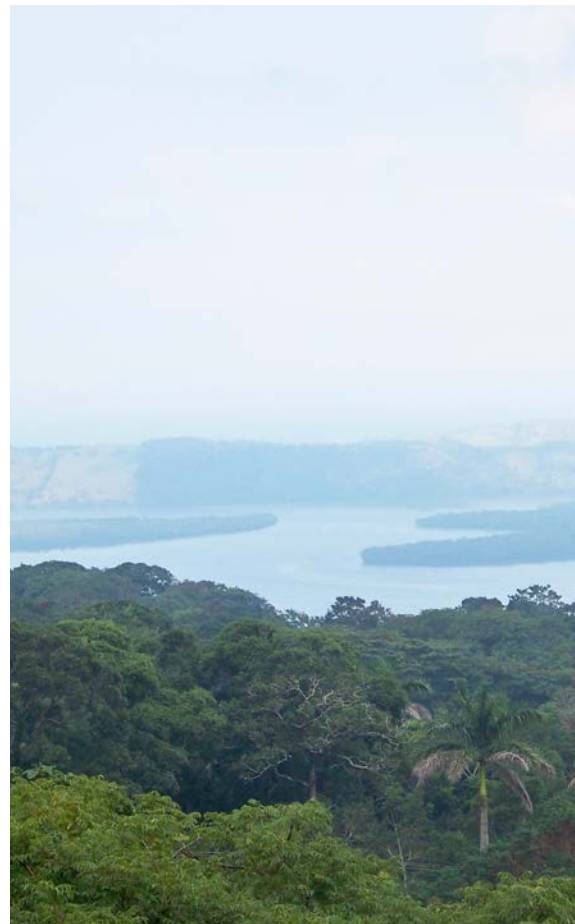
I LAGUNAS COSTERAS, PASTOS MARINOS Y ESTUARIOS

En el estado de Veracruz hay alrededor de 18 lagunas costeras que abarcan un área de 1,166 km², que representa el 7.4% a nivel nacional, también hay numerosos estuarios asociados a grandes extensiones de manglar. La laguna costera más grande es la Laguna de Tamiahua que es sitio Ramsar (1596) con aproximadamente 88,000 ha de superficie. Otros sitios Ramsar en el estado son los manglares y humedales de Tuxpan (1602), las lagunas La Mancha y El Llano (1336), el sistema lagunar Alvarado (1355), y los manglares y humedales de la laguna de Sontecomapan (1342) (López-Portillo *et al.*, 2011).

Hay pocos estudios sobre pastos marinos en los sistemas lagunar-estuarinos de Veracruz. Después de un trabajo de campo exhaustivo, Rivera-Guzmán *et al.* (2014) localizaron pastos marinos en las lagunas de Tampamachoco, el Estero Casitas, la Laguna Grande y Chica y en La Mancha. Hay dos especies en estos sistemas, *Halodule wrightii* y *Ruppia maritima*. En Tampamachoco se encuentra *H. wrightii* y en todas las demás *R. maritima*. Solo en La Mancha se encuentran las dos especies. La distribución de estas especies depende de la transparencia del agua, la salinidad y el estado trófico de estos sistemas (Rivera-Guzmán *et al.*, 2014).

Las lagunas costeras también son muy importantes para las comunidades de peces, crustáceos y moluscos (Lara-Domínguez *et al.*, 2011). Entre los peces que se han encontrado en sistemas lagunares de Veracruz sobresalen el bagre (*Ariopsis*

felis), el jurel (*Caranx hippos*), el robalo blanco (*Centropomus undecimalis*), la mojarra (*Diapterus auratus*), la lisa (*Mugil cephalus*) y la lebrancha (*Mugil curema*). Estas especies utilizan los sistemas lagunares como áreas de crianza, alimentación y refugio en las primeras etapas de su ciclo de vida (Lara-Domínguez *et al.*, 2011). En Veracruz, el sistema estuarino-lagunar con mayor número de especies de peces es el sistema Tuxpan-Tampamachoco (179), seguido de la Laguna de Tamiahua (112). La Laguna del Ostión es la que tiene el menor número de especies registradas (37) (Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000).



Laguna de Sontecomapan. Fotografía: Carmen Martínez

I VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS

Las dunas costeras son ambientes muy frágiles donde crecen especies endémicas que están adaptadas a los sustratos arenosos. Se encuentran fuertemente amenazadas por las actividades turísticas que las fragmentan, deterioran e incluso eliminan totalmente. En esta sección se enlistan algunas de las especies de plantas de los distintos microambientes de las playas y dunas a partir de información que proviene de Moreno-Casasola *et al.* (1982), Moreno-Casasola y Espejel (1986), Castillo y Moreno-Casasola (1998), Moreno-Casasola (1999), Castillo-Campos y Medina-Abreo (2002), Castillo-Campos y Travieso-Bello (2006), Moreno-Casasola (2006), Moreno-Casasola y Vázquez (2006), Moreno-Casasola (2010), Moreno-Casasola *et al.* (2011b), Espejel *et al.* (2013) y Martínez *et al.* (2014a).

Se han identificado 653 especies vegetales en las playas y dunas costeras del estado. Las principales especies de las playas, dunas embrionarias y el cordón frontal del sistema de dunas son: *Sesuvium portulacastrum*, *Ipomoea pes-caprae*, *Ipomoea imperati*, *Sporobolus virginicus*, *Canavalia rosea*, *Palafoxia lindennii*, *Croton punctatus*, *Solidago sempervirens*, *Chamaecrista chamaecristoides*. En el norte del estado también se pueden encontrar, además a *Sporobolus indicus*, *Ambrosia peruviana* (antes *A. cumanensis*), *Paspalum conjugatum*, *Coccoloba uvifera* y *Passiflora ciliata*. En las barras arenosas de Tamiahua se han registrado *Uniola paniculata*, *Sporobolus virginicus*, *Commelina diffusa*, *Palafoxia texana*, *Oenothera drummondii*, *Caesalpinia bonduc*, *Chrysobalanus*



Okenia hypogaea. Fotografía: Marisa Martínez



Cakile sp. Fotografía: Marisa Martínez



Fotografía: Dunas cubiertas con vegetación en el centro de Veracruz. Fotografía: Roberto Monroy

icaco, *Dalbergia ecastaphyllum*, *Randia aculeata*. Es importante mencionar que *Okenia hypogaea* y *Cakile* sp. eran frecuentes en las playas hace 20 años, pero ahora han desaparecido o son muy raras.

Varias de las especies mencionadas forman tanto dunas embrionarias como el primer cordón de dunas (la duna frontal). Particularmente la gramínea *Uniola paniculata* es una estabilizadora importante en el norte de Veracruz. En la zona central y sur de Veracruz, las principales son *Ipomoea pes-caprae*, *Ipomoea imperati*, *Canavalia rosea*, *Palafoxia lindenii*, *Croton punctatus* y *Chamaecrista chamaecristoides*. Particularmente *Palafoxia lindenii* y *Chamaecrista chamaecristoides* son especies de dunas costeras endémicas de México.

Existe un conjunto de plantas herbáceas y arbustivas que estabilizan y fijan la arena. *Palafoxia lindenii*, *Croton punctatus* y *Chamaecrista chamaecristoides* son las primeras en aparecer, seguidas por *Schizachyrium scoparium* (antes *S. littorale*) y *Commelina erecta*. En el norte *Coccoloba uvifera* juega también este papel colonizador de arenas móviles. Posteriormente se encuentran las especies arbustivas y arbóreas que funcionan como nucleadoras, es decir que favorecen el establecimiento de otras especies. Entre ellas están *Diphysa americana* (antes *D. robinoides*), *Randia laetevirens*, *Opuntia stricta* var. *dillenii*.

En las dunas estabilizadas del estado aún hay remanentes de bosques y selvas. Son solamente vestigios de lo que alguna

vez existió, ya que actualmente han sido transformados en potreros para cría de ganado o para cultivo de caña de azúcar. En el norte del estado, en Cabo Rojo crece una selva dominada por *Coccoloba uvifera*. Así mismo, quedan parches de selvas de *Manilkara zapota*, bosques de *Quercus oleoides* y selvas que se inundan durante las lluvias dominados por *Bucida buceras*. También se forman algunas selvas inundables sobre la barrera, donde dominan *Pachira aquatica*, *Chrysobalanus icaco*, *Hibiscus pernambucensis*, entre otros.

El último remanente de selva mediana subperennifolia se localiza en el Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (CICOLMA), municipio de Actopan. Castillo-Campos (2006) describe una selva mediana subcaducifolia de 20 m de alto, con especies como *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Ficus cotinifolia*, *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Handroanthus chrysanthus* (antes *Tabebuia chrysantha*) y *Ginoria nudiflora* entre otras. En esta localidad también crece una selva de *Gymnanthes lucida*, de menor altura, y remanentes de selvas bajas caducifolias. En la selva de *Gymnanthes* también crecen otras especies asociadas como *Fraxinus dubia* (antes *Fraxinus schiedeana*), *Hyperbaena jalcomulcensis* y *Calypttranthes pallens*, mientras que en los remanentes de selvas bajas caducifolias, abundan *Bursera simaruba*, *Coccoloba barbadensis*, *Rhamnus humboldtiana* (antes *Karwinskia humboldtiana*), *Cassine xylocarpa* (antes *Elaeodendron trichotomum*) y *Lysiloma divaricatum* entre otras. Excepto por este tipo de selva en CICOLMA, hoy en día solo quedan vestigios de estas comunidades en otras zonas del estado como Vega de Alatorre y Alvarado. |

BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, S., y Moreno-Casasola, P. 1998. *Análisis de la flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México*. Acta Botánica Mexicana, 45: 55-80.
- Castillo-Campos, G., y Medina-Abreo, M.E. 2002. *Árboles y arbustos de la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz. Manual para la identificación de las especies*. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, 142 pp.
- Castillo-Campos, G., y Travieso-Bello, A.C. 2006. La flora. En: Moreno-Casasola, P. (Ed.). *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz: 171-204 pp.
- Castillo-Campos, G. 2006. Las selvas. En: Moreno-Casasola, P. (Ed.). *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz: 221-230 pp.
- Castillo-Campos, G., Avendaño, R.S., y Medina-Abreo, M.E. 2011. Flora y vegetación. En: Cruz-Angón, A. (Ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México. Vol. I: 163-179 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2011. *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Espejel, I., Pena-Garcillán, P., y Jiménez-Orocio, O. 2013. *Flora de playas y dunas de México*. Informe Técnico Final Conabio HJ007.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 90 pp.
- Günther, H., Hasselmann, S., y Jansen, P.A. 1992. *The WAM model cycle 4*. Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ), Tech. Rep. 4. Hamburgo, Alemania, 102 pp.
- Hesp, P., Martínez, M.L., Miot da Silva, G., Rodríguez-Revelo, N., Gutiérrez, E., Humanes, A., Láinez, D., Montañón, I., Palacios, V., Quesada, A., Storero, L., González-Trilla, G., y Trochine, C. 2011. *Transgressive dunefield landforms and vegetation associations*, Doña Juana, Veracruz, Mexico. Earth Surface Processes and Landforms, 36: 285-295.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 1988. *Síntesis Geográfica. Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz*. Trece mapas anexos escala 1:1000000. Aguascalientes, Ags., México, 69 pp.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2006. Atlas. *Situación actual de la división política-administrativa interestatal Estados Unidos Mexicanos*. Aguascalientes, Ags., México, 232 pp.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2010. *Zonas Metropolitanas en los Estados Unidos Mexicanos: Censos Económicos 2009/Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.-México: INEGI, c2012.
- Lara-Domínguez, A.L., Franco López, J., Bedia Sánchez, C., Abarca Arenas, L.G., Díaz Ruiz, S., Aguirre León, A., González Gándara, C., y Castillo Rivera, M. 2011. *Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental*. En: Cruz-Angón A. (Ed.). La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. Vol. II: 505-516 pp.
- López-Portillo, J., Martínez, M.L., Hesp, P.A., Hernández Santana, J.R., Vásquez-Reyes, V.M., Gómez Aguilar, L.R., Méndez Linares, A.P., Jiménez-Orocio, O.A. y Gachuz Delgado, S. 2011. *Atlas de las costas de Veracruz: manglares y dunas*. Secretaría de Educación y Cultura del estado de Veracruz, 248 pp.
- Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Infante-Mata, D., y Rodríguez-Revelo, N. 2014a. *Diagnóstico de las dunas costeras de México*. CONAFOR. Guadalajara, Jalisco, 350 pp.
- Martínez, M.L., Mendoza-González,

- G., Silva-Casarín, E., y Mendoza, E. 2014b. *Land use changes and sea level rise may induce a "coastal squeeze" on the coasts of Veracruz, Mexico*. Global Environmental Change, 29: 180-188.
- Mendoza-González, G., Martínez, M.L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., y Simonin, P. 2012. *Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico*. Ecological Economics, 82: 23-32.
- Moreno-Casasola, P., Van der Maarel, E., Castillo, S., Huesca, M.L., y Pisanty, I. 1982. *Ecología de la vegetación de dunas costeras: estructura y composición en el Morro de La Mancha*. BIOTICA 7, 491-526.
- Moreno-Casasola, P., y Espejel, I. 1986. *Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico*. Vegetation, 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P. 1999. Dune vegetation and its biodiversity along the Gulf of Mexico, a large marine ecosystem. En: Kumpf H., Steidinger K., Sherman J. (Eds.). *The Gulf of Mexico large marine ecosystems: assessment, sustainability and management*. Blackwell, Science Inc., New York, 593-612 pp.
- Moreno-Casasola, P. 2006. Playas y dunas. En: Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa, E., y Travieso-Bello, A.C. (Eds.). *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Instituto de Ecología A.C., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Ver., México. Vol. I: 121-149 pp.
- Moreno-Casasola, P., y Vázquez, G. 2006. Las comunidades de las dunas. En: Moreno-Casasola, P. (Ed.) *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, 285-310 pp.
- Moreno-Casasola, P. 2010. *Veracruz. Mar de arena*. Gobierno del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana. Universidad Veracruzana, 283 pp.
- Moreno-Casasola, P., Infante-Mata, D.M., López-Rosas, H., Peralta, L.A., Castillo-Campos, G., Travieso-Bello, A.C., Méndez-Cortina, W.A., y Sánchez-Ríos, G. 2011a. La biodiversidad de los humedales. En: Cruz-Angón, A. (Ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. Vol. I: 217-228 pp.
- Moreno-Casasola, P., Castillo, S., y Martínez, M.L. 2011b. Flora de las playas y los ambientes arenosos (dunas) de las costas. En: Cruz-Angón, A. (Ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México: Vol. I: 229-238 pp.
- Ortiz-Pérez, M.A. 2006. Características físicas de las costas: base para su regionalización. El caso de la costa veracruzana. En: Moreno-Casasola, P., Pérez-Barbosa, E., y Travieso-Bello, A.C. (Eds.). *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*, Instituto de Ecología y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT/Gobierno del Estado de Veracruz, Xalapa, Ver., México. Vol. I: 81-96 pp.
- Pérez-Hernández, M.A., y Torres-Orozco, R.E. 2000. *Evaluación de la riqueza de especies de peces en las lagunas costeras mexicanas: Estudio de un caso en el Golfo de México*. Revista de Biología Tropical, 48: 425-438.
- Posada, G., Silva, R., Simmonds, D., y Pedrozo, A. 2007. Hydrodynamic Model with Multi-Quadtree Mesh. En: Prescott A.I. *Ocean Engineering Research Advances*. Nova Science Publishers, Inc. New York, 215-252 pp.
- Posada, G., Silva, R., y de Brye, S. 2008. *Three dimensional hydrodynamic model with multiquadtree meshes*. American Journal of Environmental Sciences, 4: 245-258.
- Posada, G., Silva, R., Mendoza, E., Vega, E., Ruiz, G., y Pisté, C. 2013. Marea de Tormenta. En: Posada, G., Vega, B.E., y Silva, R. (Eds.). *Peligros naturales en el Estado de Campeche*. Cuantificación y Protección Civil. Universidad Autónoma de Campeche, CENECAM-Gobierno del estado de Campeche, CENAPRED, 63-80 pp.
- Propin-Frejomil, E., y Sánchez Crispín, A. 2007. *Tipología de los destinos*

- turísticos preferenciales en México*. Cuadernos de turismo, 19: 147-166.
- Rivera-Guzmán, N.E., Moreno-Casasola, P., Ibarra-Obando, S.E., Sosa, V.J., y Herrera-Silveira, J. 2014. *Long term state of coastal lagoons in Veracruz, Mexico: Effects of land use changes in watersheds on seagrasses habitats*. Ocean and Coastal Management, 87: 30-39.
- Rodríguez-Herreó, H., y Boege, E. 2011. Contexto socioeconómico. En: Cruz-Angón, A. (Ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México. Vol. I: 99-125 pp.
- Ruiz, G., Silva, R., Posada, G., Pérez, D., y Bautista, E. 2009. *Modelo híbrido para la caracterización del oleaje*. Revista Ingeniería Hidráulica en México, 24: 5-22.
- Rzedowski, J. 1981. *La vegetación de México*. Limusa, México, D.F., 342 pp.
- Sánchez, C., Silva, R., Govaere, G., y Contreras, A. 1998. *Comparison of 4 wave prediction models*. 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. Merburne, Florida, 134-145 pp.
- SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). 2010. *Anuario estadístico del estado de Veracruz 2010*. SCT Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.
- SEMARNAT. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091).
- SENER (Secretaría de Energía). 2014. (<http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>).
- Silva, R., Díaz, G., Contreras, A., Bautista, G., y Sánchez C. 2000. *Determination of oceanographic risks from hurricanes on Mexican Coast*. 6th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. Monterrey, California, 137-151 pp.
- Silva, R., Govaere, G., Salles, P., Bautista, G., y Díaz, G. 2002. *Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast*. ASCE, Coastal Engineering, 39-51 pp.
- Silva, R. 2005. *Análisis y descripción estadística del oleaje*. Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 177 pp.
- Silva, R., Villatoro, M., Ramos, F., Pedroza, D., Ortiz-Pérez, M.A., Mendoza, E., Delgadillo, M., Escudero, M., Félix, A., y Cid, A. 2014. *Caracterización de la Zona Costera y Planteamiento de Criterios de Regulación para su Manejo Sustentable*. Instituto de Ingeniería UNAM/SEMARNAT, México, 127 pp.
- Soto Esparza, M., y Geissert, D. 2011. Geografía. En: Cruz-Angón, A. (Ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C. México. Vol. I: 35-52 pp.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A., y Sallenger, A.H. 2006. *Empirical parameterization of setup, swash, and runup*. Coastal Engineering, 53: 573-88.
- Trifonova, E., Valchev, N., Keremedchiev, S., Kotsev, I., Eftimova, P., Todorova, V., Konsulova, T., Doncheva, V., Flipova, M., Vergiev, S., Petkov, J., Nikolaev, R., de Vries, W., Silva, R., Andreeva, N., Galiatsotou, P., Kirilova, D., Krestenitis, Y., Polonsky, A., Androulidakis, I., Kombiadou, K., Weisse, R., Mendoza, E., Durán, G., Karambas, T., Koftis, T., Prinos, P., Kuznetsov, S., y Saprykina, Y. 2014. *Mitigating flood and erosion risk using sediment management for a touristic city: Varna, Bulgaria*. En: Zanuttigh, B., Nicholls, R., Vanderlinden, J.P., Thompson, R., y Burcharth, H. (Eds.). *Coastal risk management in a changing climate*. Elsevier, 358-383 pp.
- WAMDI GROUP. 1988. *The WAM model - A third generation ocean wave prediction model*. Journal of Physical Oceanography, 18: 1775-1810.

Veracruz tiene una alta diversidad topográfica y climática asociada a su orografía y a la influencia del Golfo de México. Las distintas características fisiográficas del estado han dado lugar a gradientes altitudinales que van desde el nivel del mar hasta los 5,610msnm en el Pico de Orizaba y generado una alta biodiversidad.

Además, la abundancia de recursos hídricos, la presencia de importantes yacimientos de hidrocarburos y su extenso litoral (29% del litoral nacional) han permitido que Veracruz tenga un importante desarrollo de actividades productivas.

La alta diversidad biológica del estado contrasta con la intensa degradación ambiental que ha experimentado y que se ha acelerado en las últimas décadas. Por lo anterior, el desarrollo de estrategias de manejo integrales es una acción prioritaria para asegurar su la preservación de su capital natural y humano.

El presente estudio abarca características del medio marino (mareas, viento y oleaje); del medio físico (características geomorfológicas, tipos de costa) y del medio biótico (humedales, manglares, lagunas, pastos, estuario, dunas costeras) que se consideran relevantes para lograr la gestión integrada de su zona costera.

